Фенестрации церебральных артерий: частота встречаемости, связь с церебральными артериальными аневризмами и другими сосудистыми патологиями по данным мультисрезовой компьютерно-томографической ангиографии

М.Ю. Калмыков [1,2], врач-рентгенолог, аспирант кафедры лучевой диагностики и лучевой терапии

[1] ФБУ «Центральная клиническая больница гражданской авиации»,
Иваньковское шоссе, 7, Москва, 125367, Российская Федерация;

[2] ГБОУ ВПО «Первый Московский государственный медицинский университет им. И.М. Сеченова» Министерства здравоохранения РФ,
ул. Б. Пироговская, 2, стр. 4, Москва, 119048, Российская Федерация

Cerebral artery fenestrations: Incidence, association with cerebral arterial aneurysms and other vascular diseases according to the data of multislice spiral computed tomography angiography

M.Yu. Kalmykov [1,2], Radiologist, Postgraduate of Beam Diagnostics and Radiotherapy

[1] Central Clinical Hospital of Civil Aviation,
Ivan'kovskoe shosse, 7, Moscow, 125367, Russian Federation;

[2] I.M. Sechenov First Moscow State Medical University,
Ministry of Health of the RF,
ul. Bol'shaya Pirogovskaya, 2, stroenie 4, Moscow, 119048, Russian Federation

Цель исследования **– определить частоту встречаемости фенестраций по данным мультисрезовой компьютерно-томографической ангиографии (КТА) и установить возможную связь фенестраций с аневризмами и другими сосудистыми патологиями головного мозга.**

Материал и методы. **Для ретроспективного анализа были отобраны 486 человек, которым была проведена КТА брахиоцефальных артерий по различным клиническим показаниям. Выполнена постпроцессорная обработка данных для выявления фенестраций экстра- и интракраниальных артерий. Помимо фенестраций выявлялись мешотчатые и фузиформные церебральные аневризмы, артериовенозные мальформации (АВМ) и венозные ангиомы. При сочетании аневризм и фенестраций изучалась их взаимная локализация.**

Результаты. **Фенестрации были выявлены у 50 (10,3%) пациентов из 486, при этом в 46 (9,5%) случаях это были фенестрации интракраниальных, в 4 (0,8%) – экстракраниальных отделов позвоночных артерий. Аневризмы различных локализаций были выявлены у 163 (33,5%) пациентов. Венозные ангиомы различных локализаций – у 9 (1,9%), АВМ – у 21 (4,3%) пациента. С учетом множественных было выявлено 54 фенестрации. Большая часть фенестраций локализовалась в области передней соединительной артерии (ПСА) – 28 (51,9%). Аневризмы были выявлены у 11 (22%) пациентов с фенестрациями и у 152 (34,9%) – без фенестраций. Частота встречаемости аневризм у пациентов с фенестрациями и без таковых статистически не различалась ($p>0,05$), при этом аневризмы несколько чаще встречались у пациентов без фенестрированных сосудов. У 1 (9,1%) пациента аневризма располагалась в области фенестрации базилярной артерии (БА), в остальных случаях аневризмы располагались на сосудах, не имеющих фенестраций. Относительно часто – в 5 (45,5%) случаях аневризмы встречались у пациентов с фенестрацией БА. Статистической разницы в частоте встречаемости АВМ в группах пациентов с фенестрациями и без них получено не было. Венозные ангиомы достоверно чаще выявлялись у пациентов с фенестрациями ($p<0,05$).**

***Objective*: to determine the incidence of fenestrations from multislice spiral computed tomography angiography (CTA) series and to establish the possible association of fenestrations with aneurysms and other vascular diseases of the brain.**

Material and methods. **Four hundred and eighty-six persons who had undergone brachiocephalic artery (BA) CTA for different clinical indications were selected for retrospective analysis. Postprocessor data processing was made to detect extra- and intracranial artery fenestrations. Saccular and fusiform cerebral aneurysms, arteriovenous malformations (AVMs), and venous angiomas were detected in addition to fenestrations. When aneurysms were concurrent with fenestrations, their locations were compared.**

***Results*.** **Among the 486 patients, fenestrations were revealed in 50 (10.3%) cases, of which there were 46 (9.5%) intracranial artery fenestrations and 4 (0.8%) vertebral artery (VA) ones in the extracranial segments. Aneurysms of different locations were found in 163 (33.5%) patients. Venous angiomas of different locations were seen in 9 (1.9%) persons; AVMs were observed in 21 (4.3%) patients. Fifty-four multiple fenestrations were identified. The bulk of fenestrations were located in the area of the anterior communicating artery (ACA) in 28 (51.9%) patients. Aneurysms were found in 11 (22%) patients with fenestrations. Aneurysms were detected in 152 (34.9%) of 436 patients without fenestrations. The incidence of aneurysms was not statistically different in patients with and without fenestrations ($p > 0.05$); moreover, aneurysms were somewhat more common in patients without fenestrated vessels. Aneurysm located in the area of fenestration was in only one (9.1%) patient. In other cases aneurysms were located in the vessels having no fenestrations. Aneurysms were relatively frequently encountered in 5 (45.5%) patients with BA fenestration. There was no statistical difference in the incidence of AVMs in the fenestration**

Ключевые слова: *фенестрация, аневризма, артериовенозная мальформация, венозная ангиома, компьютерно-томографическая ангиография*

Index terms: *fenestration, aneurysm, arteriovenous malformation, venous angioma, computed tomography angiography*

Для контактов: Калмыков Максим Юрьевич; e-mail: kalmykov.m.yu@yandex.ru

Заключение. **По данным КТА фенестрации были выявлены у 10,3% пациентов. Наиболее часто фенестрации локализовались в области ПСА, реже – в области БА и средней мозговой артерии. Очень редко встречались фенестрации других локализаций, сочетанные и экстракраниальные. По нашим данным, прямой связи фенестраций с формированием артериальных аневризм и АВМ нет. При наличии фенестрации в области БА частота встречаемости аневризм увеличивалась до 45,5%. Венозные ангиомы чаще встречались у пациентов с фенестрациями.**

Conclusion. **CTA findings showed fenestrations 10.3% of patients. Fenestrations were located most frequently in the area of ACA and less frequently in the area of BA and middle cerebral artery. Those of other locations, concomitant and extracranial ones, were very rare. According to our data, there was no direct relationship of fenestrations to arterial aneurysms and AMVs. When fenestrations were in the area of BA, the incidence of aneurysms increased up to 45.5%. Venous angiomas occurred more commonly in patients with fenestrations.**

Введение

Фенестрации, или «островковые» разделения церебральных артерий, представляют собой разделение просвета артерии на два отдельных канала с эндотелиальной выстилкой, с общим или раздельным адвентициальным слоем и являются результатом частичного неслияния примитивных сосудов или неполной облитерации эмбриональных сосудистых анастомозов. Фенестрации могут иметь различную протяженность, от локального милиарного разделения в центре до протяженных сегментарных удвоений [1, 2].

Сосуществование аневризм и фенестраций продемонстрировано по данным некоторых исследований, но есть ли связь между наличием аневризм и фенестраций – точно не определено. Согласно данным анатомических исследований и интраоперационным наблюдениям, фенестрации встречаются достаточно часто, особенно в области передней соединительной артерии (ПСА) [3, 4]. Визуализировать фенестрации при проведении дигитальной субтракционной ангиографии (ДСА) удается значительно реже, что объясняется ограниченным количеством стандартных проекций, в то время как фенестрация может быть выявлена только под определенным углом обзора [1, 5].

С введением в клиническую практику неинвазивных методов ангиовизуализации, позволяющих получать многоплоскостные и 3D-реформации, а именно КТА и магнитно-резонансной ангиографии (МРА), а также разновидности ДСА – 3D-ротационной ангиографии, частота выявления фенестраций возросла [6–9]. Однако данных по частоте и локализации фенестраций нами обнаружено мало.

Материал и методы

Для ретроспективного анализа были отобраны пациенты, которым проведена компьютерно-томографическая ангиография (КТА) брахиоцефальных артерий по различным клиническим показаниям в период с апреля 2009 г. по май 2012 г. Общее число пациентов составило 486 человек (193 мужчины и 293 женщины) в возрасте от 18 до 79 лет. Данные были извлечены из цифрового архива (дата исследования, имя, дата рождения и пол пациента, наличие и локализация аневризм) и повторно пересмотрены. Была проведена постпроцессорная обработка данных для получения оптимальных изображений и выявления фенестраций экстра- и интракраниальных артерий.

Всем пациентам КТА брахиоцефальных сосудов выполнялась на 64-спиральном компьютерном томографе Lightspeed VCT фирмы General Electric. Параметры исследования: толщина среза 0,625 мм, питч 0,516:1, напряжение 120 кВ, сила тока 390 мА/с. Уровень исследования – от нижнего края дуги аорты до верхней границы черепа. Лучевая нагрузка 11–11,5 мЗв. Йодсодержащее контрастное вещество (массовая доля йода не менее 350 Ед/мл) вводилось в объеме 80–100 мл со скоростью 4–4,5 мл/с в кубитальную вену с помощью автоматического шприца-инжектора. Постпроцессорная обработка данных осуществлялась на рабочей станции Advantage Window Workstation 4,5 с использованием мультипланарных реконструкций (MPR), проекции максимальной интенсивности (MIP) и объемного моделирования (VR).

На ангиограммах были визуализированы участки локального расщепления просвета сосудов, проксимальные и дистальные соединения. Помимо фенестраций выявлялись мешотчатые и фузиформные церебральные аневризмы, артериовенозные мальформации (АВМ) и венозные ангиомы.

При сочетании аневризм и фенестраций изучалась их взаимная локализация (аневризма в зоне фенестрации, аневризма фенестрированного сосуда и аневризма сосуда, не имеющего фенестрации).

Для оценки соотношения пропорций использовалось χ^2 распределение с k степенями свободы. Различия считались достоверными при значении $p<0,05$.

Результаты

Из 486 пациентов фенестрации были выявлены у 50 (10,3%), при этом в 46 (9,5%) случаях это были фенестрации интракраниальных, в 4 (0,8%) – экстракраниальных отделов позвоночных артерий (ПА). Аневризмы различных локализаций были выявлены у 163 (33,5%) пациентов, в том числе веретенообразные – у 25 (5,1%) человек. Венозные ангиомы различных локализаций обнаружены у 9 (1,9%) человек, АВМ – у 21 (4,3%).

С учетом множественных было выявлено 54 фенестрации. Большая часть фенестраций локализовалась в области передней соединительной артерии – 28 (51,9%) случаев (рис. 1). Остальные фенестрации локализовались на уровне базилярной артерии (БА) – 11 (18,6%) случаев (рис. 2), средней мозговой артерии (СМА) – 6 (11,1%) (рис. 3),

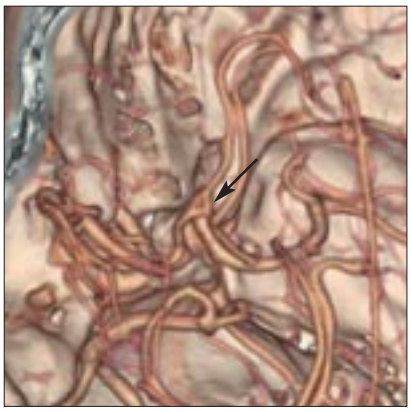

Рис. 1. КТА церебральных артерий. Технология объемной визуализации (VRT). Фенестрация в области передней соединительной артерии слева (стрелка).

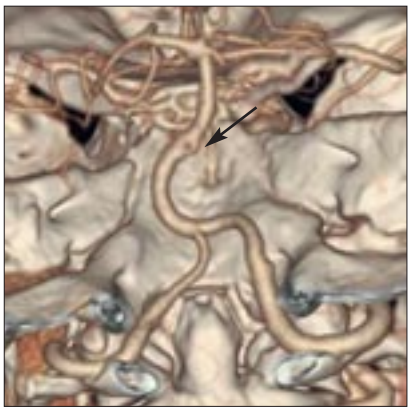

Рис. 2. КТА церебральных артерий. Технология объемной визуализации (VRT). Фенестрация базилярной артерии в средней трети (стрелка).

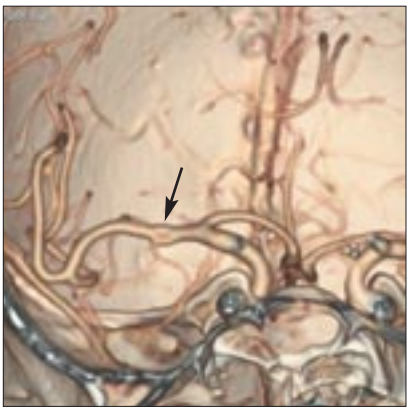

Рис. 3. КТА церебральных артерий. Технология объемной визуализации (VRT). Локальное разделение просвета левой СМА на два отдельных фенестрационных канала (стрелка).

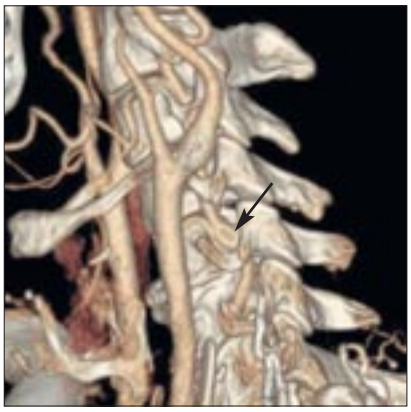

Рис. 4. КТА брахиоцефальных артерий. Технология объемной визуализации (VRT). В поперечно-отростковом канале на уровне V шейного позвонка определяется фенестрация левой позвоночной артерии в виде разделения просвета артерии на два отдельных фенестрационных канала (стрелка).

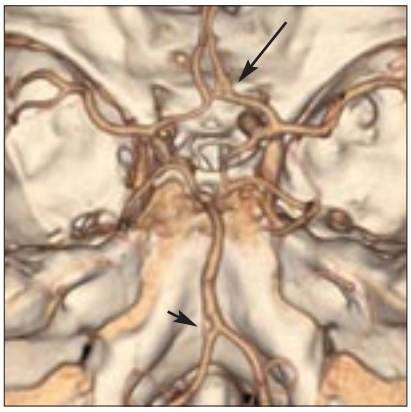

Рис. 5. КТА церебральных артерий. Технология объемной визуализации (VRT). Визуализируются сочетанные фенестрации церебральных артерий: фенестрация на уровне проксимальной трети БА (короткая стрелка) и фенестрация в области ПСА справа (длинная стрелка).

Рис. 6. КТА церебральных артерий. Технология объемной визуализации (VRT). На уровне средней трети базилярной артерии визуализируется локальное разделение просвета на два отдельных канала – фенестрация (длинная стрелка). В области проксимального края фенестрации определяется артериальная аневризма размером 3 мм (короткая стрелка).

интракраниального V4 сегмента ПА – 3 (5,6%) и А1 сегмента передней мозговой артерии (ПМА) – 2 (3,7%) случая.

Экстракраниально располагалось 7,4% фенестраций на уровне V2 и V3 сегментов ПА (рис. 4).

Множественные или сочетанные фенестрации были следующих локализаций: в области ПСА и БА – у 2 пациентов (рис. 5), ПСА и V4 сегмента ПА – у 1 и ПСА и А1 сегмента ПМА – у 1 пациента. То есть множественные фенестрации во всех случаях сочетались с фенестрацией в области ПСА.

Аневризмы были выявлены у 11 (22%) пациентов с фенестрациями, расположенными в области ПСА ($n=5$), БА ($n=4$), V4 ($n=1$) и V2 ($n=1$) сегменов ПА. Из 436 пациентов без фенестраций аневризмы были обнаружены у 152 (34,9%) человек. Частота встречаемости аневризм у пациентов с фенестрациями и без них статистически не различалась ($p>0,05$), при этом аневризмы несколько чаще встречались у пациентов без фенестрированных сосудов.

Аневризма в зоне фенестрации располагалась только у 1 пациента (в области фенестрации БА) (рис. 6). В остальных случаях аневризмы располагались на сосудах, не имеющих фенестраций (рис. 7). Таким образом, достоверных данных о взаимосвязи между локализацией фенестраций и аневризм получено не было ($p>0,05$).

Аневризмы относительно часто встречались у пациентов с фенестрацией БА – 5 (45,5%) случаев ($p<0,05$) (см. рисунки 6, 7), в то время как сочетание аневризм с фенестрацией ПСА имелось только в 21,4% случаев ($n=6$).

Сочетание фенестраций с АВМ было выявлено у 4 (8%) пациентов, при этом у 3 (75%) из них фенестрации располагались

в зоне ПСА (рис. 8) и у 1 – экстракраниально, на уровне V2 сегмента ПА. Статистической разницы частоты встречаемости АВМ в группах пациентов с фенестрациями и без них не было.

Сочетание венозных ангиом с фенестрациями имелось у 3 (6%) из 50 пациентов, причем у всех фенестрация локализовалась в зоне ПСА (рис. 9). Венозные ангиомы достоверно чаще встречались у пациентов с фенестрациями ($p<0,05$).

Обсуждение

Согласно полученным в нашем исследовании данным, фенестрации брахиоцефальных артерий встречаются в 10,3% случаев. Эти результаты совпадают с таковыми ранее проведенных исследований по данным КТА – 11% [7], но ниже, чем полученные по данным 3D-ротационной ангиографии [6]. Меньшая частота встречаемости фенестраций по данным КТА может быть обусловлена более высокой разрешающей способностью ДСА, а также тем, что в указанном исследовании пациенты были отобраны селективно, на основании предположения о наличии церебральных аневризм. Во многих фенестрациях каналы настолько тонки (0,1–0,3 мм), что их не удается визуализировать при КТА [10]. В связи с этим для выявления фенестраций церебральных артерий необходимо использовать протокол с максимально тонкими срезами, в отличие от протоколов, используемых при КТ-ангиографии аорты, где допустимы срезы 1 мм и более [11].

В нашем исследовании фенестрации наиболее часто локализовались в области ПСА (51,9%), реже в области БА (20,3%) и СМА (11,1%), в редких случаях располагались на других артериях и имели множественный характер. Эти результаты совпадают с данными литературы [6, 7].

Примеры сосуществования фенестраций с артериальными аневризмами широко освещены в литературе [12–14]. Однако причина этой взаимосвязи до конца не ясна. Строение стенки артерии в зоне фенестраций не отличается от такового нормальных церебральных сосудов. Внутренние дефекты стенок в виде участков локального отсутствия интимы и прерывистости эластической мембраны встречаются с одинаковой частотой в области бифуркаций нормальных сосудов и проксимальных краев фенестраций. Установлено, что аневризмы чаще возникают на уровне проксимального края фенестраций, что обусловлено дефектами в стенке артерии и гемодинамической перегрузкой [10]. В нашем исследовании была выявлена только одна аневризма в области фенестрации, расположенная проксимально.

Согласно полученным нами данным, частота фенестраций у пациентов с аневризмами и АВМ по сравнению с основной популяцией статистически не различалась, в то время как венозные ангиомы достоверно чаще встречались у пациентов с фенестрациями. Это согласуется с литературными данными. Так, A. Uchino et al. обнаружили сосуществование АВМ и фенестраций БА только в 7% случаев. A. Bharatha et al. [7], проанализировав 504 КТ-ангиограммы, не выявили прямой связи между наличием аневризм и фенестраций как в зоне самой фенестрации, так и в отдалении от нее.

В нашем исследовании большая часть аневризм располагалась вне фенестрированного сосуда

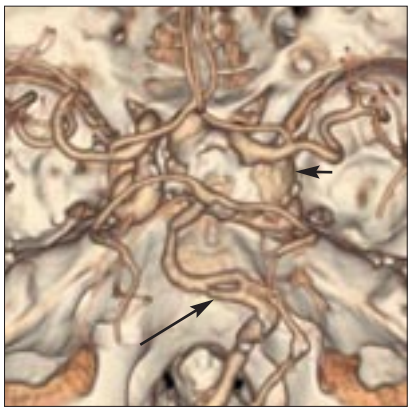

Рис. 7. КТА церебральных артерий. Технология объемной визуализации (VRT). Визуализируется фенестрация проксимальной трети базилярной артерии (длинная стрелка). Гигантская, частично тромбированная аневризма кавернозного сегмента правой внутренней сонной артерии (короткая стрелка).

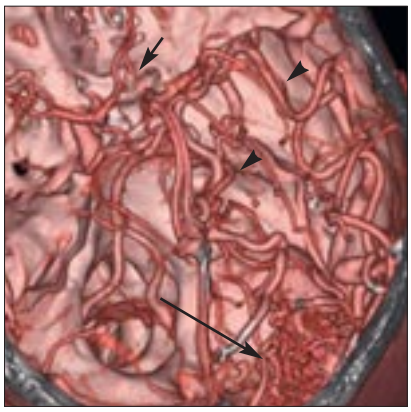

Рис. 8. КТА церебральных артерий. Технология объемной визуализации (VRT). Справа в области ПСА определяется фенестрация (короткая стрелка) в виде локального разделения просвета артерии на два отдельных канала. В теменно-затылочной области справа визуализируется компактный клубок извитых разнокалиберных сосудов АВМ (длинная стрелка) с афферентами из эктазированных задней мозговой и средней мозговой артерий (головки стрелок) и расширенными конвекситальными венами-эфферентами.

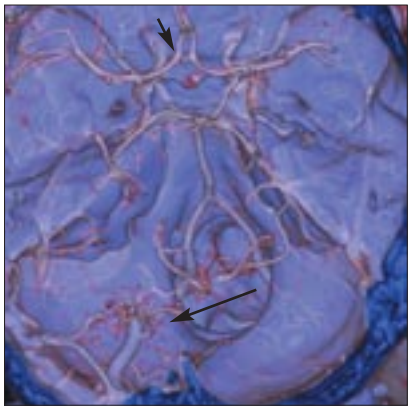

Рис. 9. КТА церебральных артерий. Технология объемной визуализации (VRT). Слева в области ПСА определяется фенестрация (короткая стрелка). В левом полушарии мозжечка видна сеть мелких радиарных вен, собирающихся в аномальный венозный сосуд диаметром 4 мм (венозная ангиома, указана длинной стрелкой), впадающий в левый поперечный синус вблизи синусного стока.

и только в 9,1% – в зоне фенестрации (см. рисунок 6). То есть частота случаев сосуществования фенестрации и аневризмы в зоне фенестрации не отличается от частоты случаев локализации аневризм в других отделах Виллизиева круга. Эти результаты совпадают с литературными данными [6, 10]. В то же время, по мнению A.N. de Gast et al. (2008 г.), большая часть фенестраций в зоне ПСА сочеталась с одной и более аневризмами той же локализации. R.E. Osborn et al. (1987 г.) полагают, что многие аневризмы вертебробазилярной зоны сочетаются с фенестрацией БА [15].

Несмотря на то что фенестрации, предположительно, напрямую не влияют на формирование аневризм, полученные данные дают основание полагать, что в случае наличия фенестраций определенных локализаций, например на уровне БА, частота встречаемости аневризм увеличивается (см. рисунки 6, 7).

Заключение

Фенестрации по данным КТА были выявлены у 10,3% пациентов. Наиболее часто фенестрации локализуются в области ПСА, реже – в области БА и СМА. Очень редко встречаются фенестрации других локализаций, сочетанные и экстракраниальные. По нашим данным, прямой связи фенестраций с формированием артериальных аневризм и АВМ нет, но при наличии фенестрации в области БА вероятность наличия аневризмы увеличивается. Венозные ангиомы встречались чаще у пациентов с фенестрациями.

Литература

1. Sanders W., Sorek P., Mehta B. Fenestration of intracranial arteries with special attention to associated aneurysms and other anomalies. *Am. J. Neuroradiol.* 1993; 14: 675–80.
2. Padget D. The development of the cranial arteries in the human embryo. *Contrib. Embryol.* 1948; 212: 207–61.
3. Serizawa T., Saiki N., Yamaura A. Microsurgical anatomy and clinical significance of the anterior communicating artery and its perforating branches. *Neurosurgery*. 1997; 40: 1211–16.
4. Tao X., Yu X., Bhattarai B. et al. Microsurgical anatomy of the anterior communicating artery complex in adult Chinese heads. *Surg. Neurol.* 2006; 65: 155–61.
5. Van Rooij S., van Rooij W., Sluzewski M., Sprengers M. Fenestrations of intracranial arteries detected with 3D rotational angiography. *Am. J. Neuroradiol.* 2009; 30: 1347–50.
6. Teal J., Rumbaugh C., Bergeron R. et al. Angiographic demonstration of fenestrations of the intradural intracranial arteries. *Radiology*. 1973; 106: 123.
7. Bharatha A., Aviv R., White J. et al. Intracranial arterial fenestrations: frequency on CT angiography and association with other vascular lesions. *Surg. Radiol. Anat.* 2008; 30: 397–401.
8. De Gast A., van Rooij W., Sluzewski M. Fenestrations of the anterior communicating artery: incidence on 3D angiography and relationship to aneurysms. *Am. J. Neuroradiol.* 2008; 29: 296–8.
9. Uchino A., Kato A., Abe M. et al. Association of cerebral arteriovenous malformation with cerebral arterial fenestration. *Eur. Radiol.* 2001; 11: 493–6.
10. Finlay H., Canham P. The layered fabric of cerebral artery fenestrations. *Stroke*. 1994; 25: 1799–806.
11. Вишнякова М.В. (мл.), Шумский В.И., Вишнякова М.В., Денисова Л.Б., Ларьков Р.Н. Роль мультиспиральной компьютерной томографии (МСКТ) в диагностике диссекции аорты. *Российский электронный журнал лучевой диагностики*. 2013; 3 (1): 50–6.
12. Peluso J., van Rooij W., Sluzewski M. et al. Aneurysms of the vertebrobasilar junction: incidence, clinical presentation, and outcome of endovascular treatment. *Am. J. Neuroradiol.* 2007; 28: 1747–51.
13. Campos J., Fox A., Vinuela F. et al. Saccular aneurysms in basilar artery fenestration. *Am. J. Neuroradiol.* 1987; 8: 233.
14. Yaçsargil M. Microneurosurgery. Vol. 1. Stuttgart, Germany: Georg Thieme Verlag; 1984: 99–107.
15. Osborn R., Kirk G. Cerebral arterial fenestration. *Comput. Radiol.* 1987; 11 (3): 141–5.

References

1. Sanders W., Sorek P., Mehta B. Fenestration of intracranial arteries with special attention to associated aneurysms and other anomalies. *Am. J. Neuroradiol.* 1993; 14: 675–80.
2. Padget D. The development of the cranial arteries in the human embryo. *Contrib. Embryol.* 1948; 212: 207–61.
3. Serizawa T., Saiki N., Yamaura A. Microsurgical anatomy and clinical significance of the anterior communicating artery and its perforating branches. *Neurosurgery*. 1997; 40: 1211–16.
4. Tao X., Yu X., Bhattarai B. et al. Microsurgical anatomy of the anterior communicating artery complex in adult Chinese heads. *Surg. Neurol.* 2006; 65: 155–61.
5. Van Rooij S., van Rooij W., Sluzewski M., Sprengers M. Fenestrations of intracranial arteries detected with 3D rotational angiography. *Am. J. Neuroradiol.* 2009; 30: 1347–50.
6. Teal J., Rumbaugh C., Bergeron R. et al. Angiographic demonstration of fenestrations of the intradural intracranial arteries. *Radiology*. 1973; 106: 123.
7. Bharatha A., Aviv R., White J. et al. Intracranial arterial fenestrations: frequency on CT angiography and association with other vascular lesions. *Surg. Radiol. Anat.* 2008; 30: 397–401.
8. De Gast A., van Rooij W., Sluzewski M. Fenestrations of the anterior communicating artery: incidence on 3D angiography and relationship to aneurysms. *Am. J. Neuroradiol.* 2008; 29: 296–8.
9. Uchino A., Kato A., Abe M. et al. Association of cerebral arteriovenous malformation with cerebral arterial fenestration. *Eur. Radiol.* 2001; 11: 493–6.
10. Finlay H., Canham P. The layered fabric of cerebral artery fenestrations. *Stroke*. 1994; 25: 1799–806.
11. Vishnyakova M.V. (jr), Shumskiy V.I., Vishnyakova M.V., Denisova L.B., Lar'kov R.N. Multidetektor computer tomography in aortic dissection diagnosis. *Rossiyskiy elektronnyy zhurnal luchevoy diagnostiki*. 2013; 3 (1): 50–6 (in Russian).
12. Peluso J., van Rooij W., Sluzewski M. et al. Aneurysms of the vertebrobasilar junction: incidence, clinical presentation, and outcome of endovascular treatment. *Am. J. Neuroradiol.* 2007; 28: 1747–51.
13. Campos J., Fox A., Vinuela F. et al. Saccular aneurysms in basilar artery fenestration. *Am. J. Neuroradiol.* 1987; 8: 233.
14. Yaçsargil M. Microneurosurgery. Vol. 1. Stuttgart, Germany: Georg Thieme Verlag; 1984: 99–107.
15. Osborn R., Kirk G. Cerebral arterial fenestration. *Comput. Radiol.* 1987; 11 (3): 141–5.

Поступила 25.02.2014