

Г.С. Сергеев, К.Ю. Орлов\*, А.Л. Кривошапкин\*, В.А. Панарин\*,  
В.П. Курбатов\*, М.Е. Амелин\*, Л.Е. Кальнеус\*\*, Д.В. Чебыкин

## Программное обеспечение для оценки степени девакуляризации артериовенозных мальформаций

ГБОУ ВПО НГМУ Минздрава  
России, 630091, Новосибирск,  
Красный проспект, 52  
\* ФГБУ «ННИИПК  
им. акад. Е.Н. Мешалкина»  
Минздрава России,  
630055, Новосибирск,  
ул. Речкуновская, 15,  
\*\* Новосибирский  
государственный  
университет, 630090,  
Новосибирск, ул. Пирогова, 2

УДК 616.13  
ВАК 14.01.18

Поступила в редакцию  
15 января 2013 г.

© Г.С. Сергеев,  
К.Ю. Орлов,  
А.Л. Кривошапкин,  
В.А. Панарин,  
В.П. Курбатов,  
М.Е. Амелин,  
Л.Е. Кальнеус,  
Д.В. Чебыкин, 2013

Тактика лечения артериовенозных мальформаций (АВМ) головного мозга является актуальной проблемой современной нейрохирургии. При эндоваскулярной хирургии чаще всего используется этапная эмболизация АВМ, в связи с чем становится актуальной разработка объективных критериев оценки степени выключения АВМ, так как визуальная оценка субъективна и имеет высокую погрешность. На основании математического и графического анализа растровой графики, которой является ангиограмма, было создано программное обеспечение для определения радикальности эндоваскулярной операции. В общей сложности было проведено 54 теста, сравнивающих результаты оценки степени девакуляризации АВМ созданной программы и визуальных оценок специалистов. Среднее расхождение процентных значений оценки между специалистами составило  $14,8 \pm 1,6\%$  (амплитуда 40%), при использовании программы значения в среднем отличались на  $3,4 \pm 0,4\%$  (амплитуда 9,2%). Достоверность различий между выборками, состоящими из расхождений процентных значений, при использовании программы и без нее оценивалась с помощью непараметрического критерия Колмогорова – Смирнова. Критическое значение критерия составило 4,89, что соответствует  $p < 0,01$ . Результаты исследования подтверждают целесообразность использования программного обеспечения при определении степени девакуляризации АВМ, так как стандартизирует оценку радикальности эндоваскулярной операции и исключает субъективизм со стороны отдельно взятого специалиста. Ключевые слова: артериовенозные мальформации; медицинское программное обеспечение; радикальность операций.

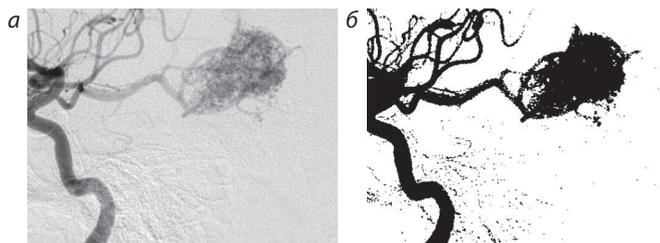
Тактика лечения артериовенозных мальформаций (АВМ) головного мозга является актуальной проблемой современной нейрохирургии. Артериовенозные мальформации сосудов головного мозга являются самыми распространенными церебральными мальформациями, регистрируются с частотой 1,21 случая на 100 000 населения в год [13]. Средний возраст на момент постановки диагноза 31,2 года. Доля больных женщин порядка 45%. Манифестируется заболевание следующими симптомами: кровоизлияние в 53% случаев (субарахноидальные у 33% больных, внутримозговые у 45%, субдуральные и смешанные гематомы у 13% пациентов, внутрижелудочковые геморрагии наблюдаются в 9% случаев [2]). Хронические головные боли в 14% случаев. Стойкий неврологический дефицит в 7% случаев. Прогрессивный неврологический дефицит в 5% случаев [7]. Причем необходимо отметить, что АВМ в 33% случаев были причинами внутричерепных кровоизлияний у лиц в возрасте до 45 лет [1, 8, 14]. Ежегодный риск

кровоизлияния из АВМ составляет 1,5–4,0% [5, 9, 12], что приводит к высокой степени инвалидизации и смертности пациентов.

На сегодняшний день существует три основных метода лечения АВМ: микронейрохирургия, эндоваскулярная хирургия и радиохимирургия. Причем эти методы не конкурируют между собой, а дополняют друг друга. Лечебный алгоритм строится исходя из оценки степени риска кровотечения и развития значимого неврологического дефицита при спонтанном течении заболевания и при проведении различных манипуляций, в зависимости от локализации АВМ, анатомии, возраста больного и других факторов. Обзор литературных источников свидетельствует о том, что при использовании микронейрохирургии радикальность удаления АВМ составляет 92,9 – 98% (S-M 1-2 – 100%, S-M 3 – 95,8%, S-M 4-5 – 83,3%), летальность 1,4 – 7,1% (S-M 1-2 – 0%, S-M 3 – 8,3%, S-M 4-5 – 16,7%). При использовании эндоваскулярной хирургии радикальность составляет 8,3 – 51,1% (S-M 1-5),

**Рис. 1.**

Сосуды головного мозга и ядро АВМ:  
 а – каротидная ангиограмма больного с АВМ височной доли;  
 б – тотально-линейно-контрастированное изображение ангиограммы.



летальность 2,3 – 2,0%. При радиохирургии радикальность 34,1–91,0%, летальность 4,6 – 11,8%, но нужно отметить, что эта методика используется чаще всего при мультимодальном подходе к лечению АВМ, как самостоятельная – при АВМ 1–2 градаций, по шкале Spetzler – Martin [4].

На сегодняшний день существуют различные алгоритмы и рекомендации по мультимодальному подходу к лечению АВМ [6, 11]. С появлением неадгезивной клеевой композиции Опух 18 существенно возросла радикальность эмболизаций, в связи с чем при мультимодальном подходе как первую опцию мы рассматриваем эндоваскулярную хирургию, путем которой удастся выключить порядка 50% АВМ. Затем пациентам с низким хирургическим риском производится микрохирургическое удаление, с высоким риском – используется радиохирургия. При эндоваскулярной хирургии чаще всего используется этапная эмболизация АВМ, в связи с чем становится актуальным разработка объективных критериев оценки степени выключения АВМ, так как визуальная оценка субъективна и имеет высокую погрешность. Цель работы – разработка программного обеспечения, позволяющего с высокой точностью оценить степень деваскуляризации АВМ после этапов эмболизации.

## МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

Для анализа были отобраны ангиограммы 34 пациентов с церебральными АВМ, проходивших лечение в нейрохирургическом центре ННИИПК им. акад. Е.Н. Мешалкина в период с 01.2011 по 12. 2012. Возраст пациентов от 11 до 56 лет (средний возраст – 33,4 года), среди которых: женщин 19 (55,9%), мужчин 15 (44,1%). Всего было проведено 54 эмболизации.

При суперселективной ангиографии сосудов головного мозга получаемые DICOM файлы содержат двухмерные растровые изображения, состоящие из пикселей. Изображения представлены в градации серого. В связи с этим для цифрового представления каждого пикселя изображения отводится 1 байт (8 бит) запоминающего устройства, выходной сигнал принимает одно из 256 значений в диапазоне от 0 до 255. Значение 0 соответствует при визуализации уровню черного, а значение 255 –

уровню белого. Применяя линейное изменение контрастности и яркости получаемых изображений, мы выяснили, что пиксели, отражающие сосуды головного мозга, представлены в диапазоне от 0 до 127, что хорошо видно при тотальном контрастировании изображения. Пиксели, находящиеся в диапазоне от 0 до 127, принимают значение 0 (черный цвет). В данном диапазоне отображаются только сосуды головного мозга и ядра АВМ (рис. 1).

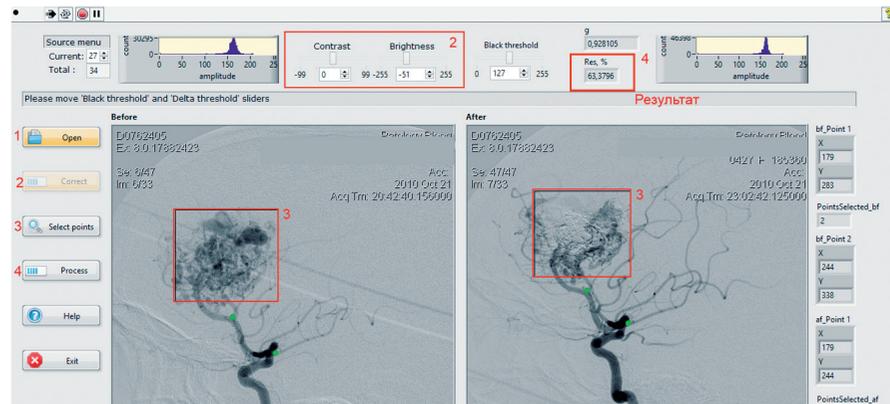
Алгоритм для «машинного зрения». Суперселективная ангиография проводилась по протоколу: контрастное вещество в каждый магистральный сосуд головного мозга последовательно вводилось, через 5-F катетер, со скоростью 6 мл/с (всего 8 мл). В момент введения скорость съемки – 3 снимка/с в одинаковых проекциях на до- и постоперационном этапе [10].

Для анализа использовались до- и постэмболизационные снимки в одинаковых проекциях и фазах контрастирования, максимально отражающие ядро артериовенозной мальформации. На изображениях, предварительно усредненных по показателю яркости и контрастности с помощью метода наименьших квадратов, выделялась одна и та же область интереса и автоматизированно подсчитывалось количество пикселей, находящихся в диапазоне от 0 до 127 на каждом изображении. Далее в одинаковых местах измерялась ширина афферентной артерии, питающей АВМ, и вычислялся поправочный коэффициент (K), исключающий ошибку разности масштабов изображения. При этом нужно отметить, что при изменении масштаба пропорции соотношения сосудов остаются неизменными. Вычисление степени деваскуляризации АВМ проводилось по следующей формуле:

$$K = \frac{H2}{H1}; \quad Y = \frac{x2}{K \times x1} \times 100\% = \frac{H1 \times x2}{H2 \times x1} \times 1$$

где Y – остаточная заполняемость сосудов АВМ, x1 и x2 – количество пикселей интересующего цвета (0 – 127) на до- и постэмболизационном изображении в области интереса соответственно, K – поправочный коэффициент, H1 и H2 – ширина афферентного сосуда в одинаковом участке на до- и постэмболизационном изображении. На этом алгоритме была основана работа созданного

**Рис. 2.**  
Интерфейс программы.



программного обеспечения, которое позволяет автоматизированно, объективно определять степень выключения АВМ (рис. 2). Принципы работы: 1) открыть исследуемые до- и послеоперационные ангиограммы; 2) скорректировать и усреднить показатели яркости и контрастности в автоматическом и/или ручном режиме; 3) выбрать две сопоставимые точки на изображениях (зеленые точки) и область интереса; 4) нажать кнопку для автоматических расчетов и получить результат.

### РЕЗУЛЬТАТЫ

В общей сложности было проведено 54 теста, сравнивающих результаты оценки степени деваскуляризации АВМ программы и визуальных оценок специалистов. Среднее расхождение процентных значений визуальной оценки специалистов составило  $14,8 \pm 1,6\%$  (амплитуда 40%), что подтверждает высокую степень субъективизма. На основе чего был создан доверительный интервал значений, учитывающий максимальный и минимальный показатель визуальной оценки. Среднее расхождение процентных значений оценки между специалистами и программой  $15,27 \pm 1,22$  (амплитуда 40%).

Это свидетельствует о том, что программа работает в установленных пределах. В работе программы отмечались факты принятия ее крайних значений (максимальных или минимальных), которые не выходили за пределы ошибки среднего значения ( $\pm 1,6$ ), что позволяет судить о достоверности результатов. При использовании программы специалистами значения в среднем отличались на  $3,4 \pm 0,43\%$  (амплитуда 9,21%).

Достоверность различий между выборками, состоящими из расхождений процентных значений, при использовании программы и без нее оценивалась с помощью непараметрического критерия Колмогорова – Смирнова. Критическое значение критерия – 4,89, что соответствует  $p < 0,01$ .

### ОБСУЖДЕНИЕ

С появлением неадгезивных эмболизаторов, а также новых типов микрокатетеров удалось существенно повысить радикальность эндоваскулярной эмболизации АВМ. Но отмечено, что с повышением уровня радикальности эндоваскулярного выключения АВМ возрастает число геморрагических осложнений, связанных с перестройкой гемодинамики в афферентах и теле АВМ.

Построение гемодинамических моделей АВМ и сценариев эмболизации позволяет прогнозировать критические изменения гемодинамики [3], в связи с чем встает вопрос объективной оценки степени деваскуляризации АВМ, что в свою очередь позволит устранить субъективные факторы оценки радикальности, упростит статистическую обработку материала, на основании которого возможно будет определить безопасные пределы выключения АВМ за один этап.

Следовательно, созданная нами программа решает эту проблему и позволяет ретроспективно сопоставить функциональный результат с ангиографическим и ответить на поставленные вопросы, то есть до операции прогнозировать безопасную степень эмболизации каждого этапа. Также планируется определить чувствительность ангиографии как методики нейровизуализации путем ее сравнения с МРТ ангиографией, что позволит еще с большей точностью проектировать тактику оперативного вмешательства и исключить грозные осложнения.

Результаты исследования подтверждают целесообразность использования программного обеспечения при определении степени деваскуляризации АВМ, так как стандартизирует оценку радикальности эндоваскулярной операции и исключает субъективизм со стороны отдельно взятого специалиста.

**СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

1. Данилов В.И., Мартыненко С.Н., Исмагилов М.Ф. // Неврологический вестник. 2001. Т. 33. Вып. 3–4. С. 61–70.
2. Дзяк Л.А. // Здоров'я України. 2008. № 12/1. С. 14.
3. Чупахин А.П., Черевко А.А., Хе А.К. и др. // Патология кровообращения и кардиохирургия. 2012. № 4. С. 27–31.
4. Bradac O., Charvat F., Benes V. // Acta Neurochir. (Wien). 2012.
5. Pollock B.E., Flickinger J.C. et al. // Stroke. 1996. V. 27. P. 1–6.
6. Christopher S. et al. // Stroke. 2001. V. 32. P. 1458–1471.
7. Hofmeister C., Stapf A. // Stroke. 2000. V. 31. P. 1307–1310.
8. Ruíz-Sandoval J.L., Cantú C., Barinagarrementeria F. // Stroke. 1999. V. 30. P. 537–541.
9. Laakso A., Hernesniemi J. // Springer. 2010. V. 120. P. 66.
10. Harrigan M.R., Deveikis J.P. et al. // Handbook Cerebrovascular Disease Neurointerventional Technique. 2009. V. 743. P. 95.
11. Radiosurgery Practice Guideline Initiative. Stereotactic Radiosurgery for Patients with Intracranial Arteriovenous Malformations (AVM). March 2009.
12. Stapf C. et al. // Neurology. 2006. V. 66. P. 1350–1355.
13. Stapf C. et al. // Neurosurg. Focus. 2001. V. 11. P. 1–5.
14. Toffol G.J., Biller J., Adams H.P. // Arch. Neurol. 1987. V. 44. P. 483–487.