

# Алгоритм вычисления остаточного объема артериовенозной мальформации после эндоваскулярной эмболизации

Г. С. Сергеев<sup>1</sup>, В. П. Курбатов<sup>\*,2</sup>, К. Ю. Орлов<sup>2</sup>, В. А. Панарин<sup>2</sup>,  
Л. Е. Кальнеус<sup>3</sup>, И. Г. Таранцев<sup>4</sup>, А. Л. Кривошапкин<sup>2</sup>

<sup>1</sup> ГБОУ ВПО «Новосибирский государственный медицинский университет» Минздрав России

<sup>2</sup> ФГБУ «Новосибирский научно-исследовательский институт патологии кровообращения им. акад. Е. Н. Мешалкина» Минздрав России

<sup>3</sup> ФГБОУ ВПО «Новосибирский национальный исследовательский государственный университет», кафедра химической физики и биофизики физического факультета

<sup>4</sup> ФГБУН «Институт автоматизации и электротехники» Сибирского отделения РАН, г. Новосибирск

## The Calculation Algorithm of Cerebral Arteriovenous Malformations Residual Volume After Endovascular Embolization

G. S. Sergeev<sup>1</sup>, V. P. Kurbatov<sup>\*,2</sup>, K. Yu. Orlov<sup>2</sup>, V. A. Panarin<sup>2</sup>,  
L. E. Kalneus<sup>3</sup>, E. G. Tarancev<sup>4</sup>, A. L. Krivoshapkin<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Novosibirsk State Medical University, Ministry of Healthcare of Russia

<sup>2</sup> Novosibirsk Research Institute of Circulation Pathology Acad. E. N. Meshalkin, Ministry of Healthcare of Russia

<sup>3</sup> Novosibirsk State University

<sup>4</sup> Institution of the Russian Academy of Sciences. Institute of Automation and Electrometry, Novosibirsk

### Реферат

Лечение артериовенозных мальформаций (АВМ) головного мозга остается актуальной проблемой сосудистой нейрохирургии, требующей мультимодального подхода. В настоящее время ведущая

---

\* **Курбатов Владислав Петрович**, кандидат медицинских наук, старший научный сотрудник, заведующий отделом лучевой и функциональной диагностики, заведующий отделением рентгеновской компьютерной томографии ФГУ «Новосибирский научно-исследовательский институт патологии кровообращения им. акад. Е. Н. Мешалкина» Минздрав России.  
Адрес: 630055, г. Новосибирск, ул. Речкуновская, д. 15.  
Тел.: +7 (383) 347-60-06. Электронная почта: vk73@mail.ru

**Kurbatov Vladislav Petrovich**, Ph. D. Med., Senior Researcher, Head of Department of Radiological and Functional Diagnostics, Head of the X-ray Computed Tomography Department, Novosibirsk Research Institute of Circulation Pathology Acad. E. N. Meshalkin, Ministry of Healthcare of Russia.  
Address: 630055, Russia, Novosibirsk, Rechkunovskaya st., 15.  
Phone number: +7 (383) 347-60-06. E-mail: vk73@mail.ru

роль отдается эндоваскулярному лечению. В большинстве случаев во избежание гемодинамических осложнений применяется этапная эмболизация АВМ с одномоментным выключением не более 60 % объема АВМ [3]. В связи с тем что визуальная оценка по ангиограммам субъективна и имеет высокую погрешность, возникает необходимость объективизации степени выключения АВМ. На основании математического и графического анализа растровой графики, экспортируемой из DICOM-файлов МРТ-контрастной ангиографии (GE Signa Infinity, мощностью 1,5 Тл) 13 пациентов, был высчитан до- и послеоперационный объем узла АВМ с перинидальной частью афферентных и эфферентных сосудов и объем эмболизата (Onyx® LES-eV3). Ангиография проводилась на аппарате Toshiba Infinix CS-s. Расчетное количество Onyx® LES-eV3 по результатам МРТ сравнивалось с количеством, указанным в протоколе операции. После этого 5 независимым специалистам предлагалось определить процент деваскуляризации АВМ после проведения операции без и с использованием созданного алгоритма. Среднее расхождение процентных значений оценки между специалистами составило  $14,8 \pm 1,6$  % (амплитуда 40 %). При использовании программно-автоматизированного алгоритма значения в среднем отличались на  $2,4 \pm 0,34$  % (амплитуда 5,8 %). Созданный алгоритм показал свою низкую операторозависимость в оценке степени деваскуляризации АВМ после эмболизации, что позволяет получать стандартизированные значения.

**Ключевые слова:** эндоваскулярная эмболизация, артериовенозные мальформации, медицинское программное обеспечение, радикальность операций.

## Abstract

The treatment strategy of arteriovenous malformations (AVMs) of the brain is the actual problem of modern neurosurgery. Stage care AVM embolization is most often used in endovascular surgery for a safer turn it off. Therefore, it becomes actual to develop algorithms and objective criteria for assessing the degree of AVM turn off, in time as a visual assessment by angiograms and MR studies is subjective and has high deviation. We suggest an algorithm of a mathematical calculation of AVM devascularization percent after endovascular embolization with MRI. 13 patients with MRI of the brain (GE Signa Infinity, 1,5 T) were taken for analysis before and after partial embolization of AVM on angiography (Toshiba Infinix CS-s). During MRI was performed unenhanced and contrast angiography (TOF). Volume of Onyx® LES-eV3 and AVM node with perinodular part of afferent and efferent vessels (before and after embolization) was calculated on the basis of mathematical and graphical analysis raster graphics exported from DICOM files MRI contrast angiography. Estimated volume Onyx® LES-eV3 on MRI compared to the amount specified in the surgical protocol. The analysis was performed independently by five specialists visually and with an original algorithm to determine the percentage of AVM devascularization after surgery. Average difference of values between specialists in visual assessment was  $14,8 \pm 1,6$  % (range 40 %). Mean difference of values between experts with using the algorithm was  $3,1 \pm 0,34$  % (range 5,8 %). Developed algorithm has shown its high independence from investigator in assessing the degree of AVM devascularization after embolization, which allows to receive standardized values.

**Key words:** Endovascular Embolization, Arteriovenous Malformation, Medical Software, Radicalism.

## Актуальность

Артериовенозные мальформации (АВМ) головного мозга среди других типов сосудистых мальформаций представляют особый интерес и наибольшую проблему в связи с неблагоприятным естественным течением и сложностью лечения.

Заболеваемость составляет порядка 1,21 случая на 100 тыс. населения в год [6]. Ежегодный риск разрыва АВМ достигает 1,5–4 % [6–8], что является причиной высокой инвалидизации и смертности пациентов. При этом необходимо отме-

туть, что АВМ является одной из самых частых причин внутримозговых кровоизлияний у лиц в возрасте до 45 лет [4, 5]. Лечебный алгоритм при данной патологии базируется на 3 основных методах лечения: микронейрохирургии, эндоваскулярной хирургии и радиохимирургии, которые могут использоваться изолированно или в различных комбинациях.

Выбор того или иного метода, количество этапов лечения и комбинация различных модальностей определяются локализацией, ангиоархитектоникой АВМ, возрастом и соматическим состоянием пациента, а также техническими возможностями центра, в котором проводится лечение.

В Центре ангионеврологии и нейрохирургии ФГБУ «Новосибирский научно-исследовательский институт патологии кровообращения им. акад. Е. Н. Мешалкина» Минздрава России в период с 01.01.2011 г. по 01.03.2013 г. пролечено 157 пациентов с церебральными АВМ. В клинике используется мульти-модальный подход при лечении АВМ. Первой опцией рассматривается эндоваскулярная хирургия. Это обусловлено применением неадгезивной композиции Onyx® LES-eV3, которая позволила увеличить радикальность эмболизации; в центре она составила 70,2 %; в центре она составила 70,2 %. Данный эмболизирующий материал благодаря своим физико-химическим свойствам позволяет добиться более глубокого проникновения эмболизата в узел АВМ с возможностью выключения нескольких компартментов или всей АВМ за одну сессию.

В тех случаях, когда эндоваскулярная хирургия невозможна или не приводит к тотальному выключению АВМ, используется микрохирургия (n = 27;

18,6% пациентов) и/или радиохимирургия (n = 9; 6,2 % пациентов). Одной из наиболее серьезных проблем, связанных с эмболизацией, являются периперационные кровоизлияния, возникающие вследствие перестройки гемодинамики. Риск периперационного кровоизлияния возрастает с увеличением объема АВМ, выключаемого во время процедуры. Для уменьшения риска такого рода осложнений практикуется этапная эмболизация АВМ. Исследование гемодинамических изменений, происходящих в мальформации во время ее эндоваскулярного лечения, продемонстрировало, что одномоментное выключение более 60 % АВМ существенно увеличивает риск геморрагических осложнений [2]. Таким образом, корректная оценка допустимого «безопасного» объема выключения АВМ является крайне важной задачей.

Субъективность и высокая погрешность визуальной оценки по ангиограммам диктуют необходимость разработки программного обеспечения, позволяющего в режиме реального времени определять степень девакуляризации АВМ. Такое программное обеспечение было предложено в работе [1]. Недостатками оценки по ангиограммам является высокая операторозависимость, наличие только двух проекций, невозможность получения целостного изображения АВМ при полиафферентном кровоснабжении из разных сосудистых бассейнов (например, каротидного и вертебрального). Тогда как при анализе изображений МРТ-контрастной ангиографии (методом TOF) отмечается низкая операторозависимость исследования и более точная оценка объемных показателей узла АВМ по причине наличия большого количества срезов, следовательно, наи-

более точная оценка степени деваскуляризации АВМ, но данный метод невозможно использовать интраоперационно и сложно оценивать на глаз.

Предлагаем алгоритм математического расчета процента деваскуляризации АВМ после эмболизации, основанный на анализе МРТ-изображений, который позволит сравнивать полученные данные с результатами программы предложенной в работе [1] с последующим ее внедрением в клиническую практику врача.

**Цель:** создать математический алгоритм, позволяющий рассчитывать объем АВМ и степень ее деваскуляризации.

### Материалы и методы

Был проведен анализ снимков 13 пациентов, которым проведена МРТ головного мозга на аппарате GE Signa Infinity мощностью 1,5 Тл до и после проведения парциальной эмболизации АВМ неадгезивной композицией Onyx<sup>®</sup> LES-eV3. Вмешательства выполнены в рентгенооперационной на ангиографической установке Toshiba Infinix CS-i. МРТ-протокол включал бесконтрастную и контрастную ангиографию (методом TOF, TE 6.9, TR 36, Th 1.6, Sp 0.8).

На основании математического и графического анализов растровой графики, экспортируемой из DICOM-файлов МРТ-контрастной ангиографии, был высчитан до- и послеоперационный объем узла АВМ с перинидалиальной частью афферентных и эфферентных сосудов и объем Onyx<sup>®</sup> LES-eV3. Расчетное количество Onyx<sup>®</sup> LES-eV3 по результатам МРТ сравнивалось с количеством, указанным в протоколе операции. Затем 5 независимым специалистам предлагались ангиограммы и МРТ-ангиограммы с целью определения процента деваску-

ляризации АВМ после проведения операции без и с использованием созданного алгоритма.

### Основы математического алгоритма

Интенсивность МР-сигнала отображалась по шкале градаций серого (от 0 до 255, аддитивная цветовая модель RGB), причем значение 0 соответствовало минимальной интенсивности, а 255 — максимальной. Минимальное значение интенсивности МР-сигнала соответствовало области, заполненной эмболизатом (Onyx<sup>®</sup> LES-eV3), максимальное значение — артериальной фазе наполнения контрастом сосудов головного мозга. Таким образом, и минимальное, и максимальное значения интенсивности МР-сигнала целиком определялись препаратами контраста и эмболизата и не зависели от пациента. Поскольку крайние значения шкалы градаций серого соответствовали одним и тем же интенсивностям МР-сигнала для всех томограмм, то и все остальные градации серого (яркости) на разных томограммах соответствовали одним и тем же структурам головного мозга.

По томограммам всех 13 пациентов можно было определить границы 3 областей, которые входили в зону интереса (участка головного мозга с АВМ):

- 1) включающую самые темные воксели, это область, заполненная эмболизатом;
- 2) включающую серое и белое вещество головного мозга (область с темно-серыми вокселями);
- 3) включающую светлые воксели, это область, содержащая кровеносные сосуды с контрастом.

Для проверки корректности использования абсолютных значений яркости вокселя для всех томограмм необходи-

мо провести сравнение объема первой области с объемом эмболизата (Опух® LES-eV3), указанного в операционном протоколе для каждого из пациентов.

### Практические данные

Опытным путем определены краевые значения яркостей всех 3 областей для всех пациентов, принявших участие в исследовании (табл. 1).

Объем первой области в см<sup>3</sup> (объем одного воксела равен 0,147 см<sup>3</sup>) и объем эмболизата (Опух® LES-eV3), указанного в операционном протоколе для каждого из пациентов, указан в табл. 2.

Из табл. 1 видно, что максимальное значение яркости первой области, содержащей эмболизат, не выше значения 20. Для области, содержащей серое и белое вещество головного мозга, минимальная яркость не ниже значения 21, а максимальная — не выше 71. Для области, содержащей кровеносные сосуды с контрастом, минимальная яркость не ниже 74. Видно, что границы областей не пересекаются.

Сравнение вычисленного объема эмболизата с объемом эмболизата по операционному протоколу показывает высокую точность их совпадения. Это до-

Таблица 1

Границы яркостей 3 областей по томограммам (n = 13)

Область	№ пациента												
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Максимальная яркость первой области (с Опух® LES-eV3)	17	19	15	18	20	20	18	18	19	19	17	20	17
Минимальная яркость второй области (серого вещества головного мозга)	23	22	21	27	25	34	25	32	31	27	34	22	28
Максимальная яркость второй области (серого вещества головного мозга)	57	71	60	52	55	69	68	69	57	71	61	65	67
Минимальная яркость третьей области (сосуд с контрастом)	74	95	88	117	87	76	77	76	84	101	74	81	79

Примечание: красным выделены наиболее значимые значения для определения границ искомых областей.

Таблица 2

Сравнение объема эмболизата (вычисленный и по протоколу)

Объем	№ пациента												
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Вычисленный (см <sup>3</sup> )	0,75	1,3	2,95	1,7	2,4	4,1	2,8	2,0	2,9	2,3	1,3	1,4	3,8
По протоколу (см <sup>3</sup> )	1,0	1,5	3,0	1,5	2,5	4,0	3	2,0	3,0	2,5	1,5	1,5	4,0

*Примечание:* средняя относительная погрешность алгоритма в оценке количества Onyx® LES-eV3, по результатам МР-исследования составила  $5,8 \pm 1,1 \%$  ( $\pm m$ ), средняя абсолютная ошибка —  $0,12 \pm 0,02 \text{ см}^3$  ( $\pm m$ ).

казывает возможность использования 2 выделенных границ для разделения 3 областей по яркости вокселя, а именно:

- 1) все воксели яркостью 20 и менее соответствуют области с эмболизатом;
- 2) все воксели яркостью 74 и выше соответствуют области с кровеносными сосудами, заполненными контрастом.

Эти значения можно использовать в программе для автоматического вычисления оценочного объема АВМ и эмболизата. Графическое представление разбиения цветов томограммы на 3 области показано на рис. 1.

Красным цветом выделена область, соответствующая контрастируемым сосудам головного мозга, светло-синим — область с эмболизатом. Основываясь на вышеописанном, был создан математический полуавтоматизированный алгоритм обработки экспортируемых изображений из DICOM-файлов, содержащих контрастную МР-ангиографию.

### Клинический пример

Пациентка Б., 44 года, поступила с диагнозом: АВМ левой теменной доли III градации по Spetzler — Martin. Симптоматическая эпилепсия с редкими гене-

рализованнами эпилепсиями. Была проведена операция: парциальная эмболизация артериовенозной мальформации левой теменной доли неадгезивной композицией Onyx® LES-eV3. До и после оперативного вмешательства была проведена МР-контрастная ангиография (методом TOF) (рис. 2, а — з).

С помощью созданного алгоритма заполнен протокол исследования (табл. 3).

### Результаты и их обсуждение

Среднее расхождение процентных значений оценки между специалистами составило  $14,8 \pm 1,6 \%$  (амплитуда 40 %). При использовании созданного алго-

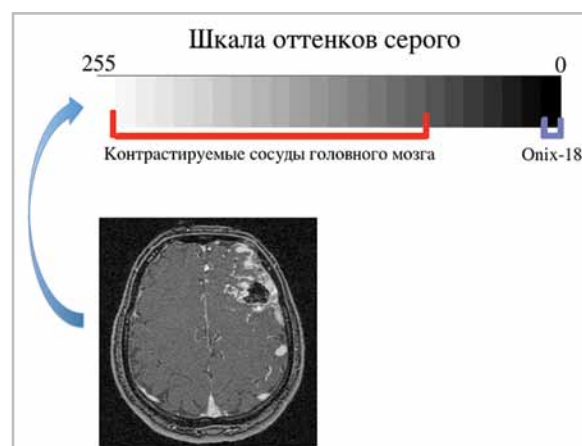


Рис 1. Представление МР-изображения в виде шкалы градаций серого цвета

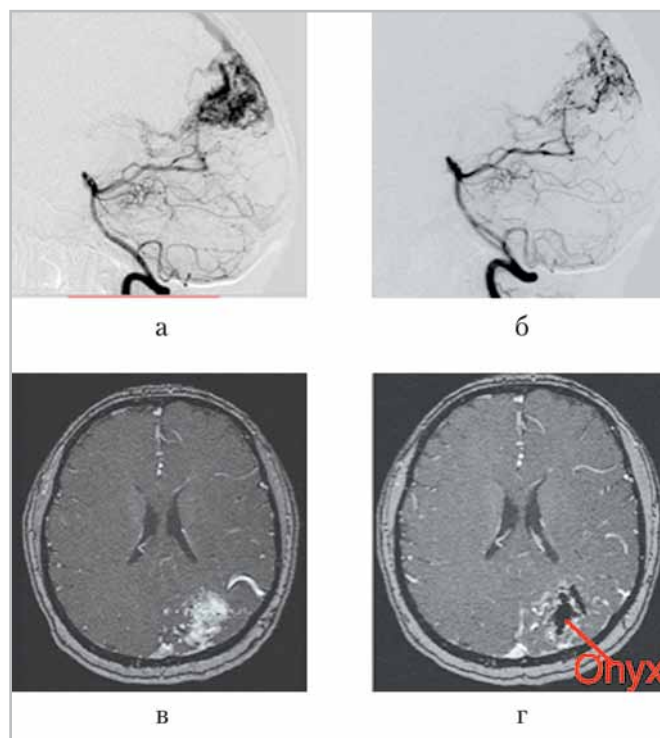


Рис 2. Церебральная ангиография в сагиттальной плоскости до (а) и после (б) операции пациентки Б., 44 года, с АВМ левой теменной доли III градации по Spetzler — Martin. МР-ангиография (методом TOF), аксиальные срезы: до (в) и после (г) эмболизации АВМ левой теменной доли композицией Onyx® LES-eV3

ритма значения в среднем отличались на  $2,4 \pm 0,34$  % (амплитуда 5,8 %). Созданный алгоритм показал свою низкую операторозависимость в оценке степени деваскуляризации АВМ после эмболизации, что позволяет получать стандартизированные значения. Средняя относительная погрешность алгоритма в оценке количества Onyx® LES-eV3 по результатам МР-исследования составила  $5,8 \pm 1,1$  % ( $\pm m$ ), абсолютная ошибка —  $0,14 \pm 0,03$  см<sup>3</sup> ( $\pm m$ ); данная ошибка переносилась на вычисление степени эмболизации АВМ.

Церебральная АВМ — весьма сложная и разнообразная по своей структуре сосудистая патология. Узел АВМ может иметь компактное или диффузное строение, содержать интранидальные

аневризмы и прямые артериовенозные фистулы. Структура АВМ имеет свое отражение на рисках возникновения кровоизлияний при естественном течении заболевания и при эмболизации, а также на тактике лечения [3]. Но в любом случае мальформация с точки зрения патологического объема сосудов, включенного в единый цереброваскулярный кровоток, подчиняется физическим гемодинамическим закономерностям [2], которые в настоящий момент широко изучаются. МР-ангиография с контрастированием методом TOF, с последующей 3D-реконструкцией, обладает низкой операторозависимостью и высокой точностью при визуализации патологических сосудов АВМ. Данное исследование позволяет визуализировать

Таблица 3

### Протокол исследования больных АВМ

Оценка процента оставшегося объема АВМ специалистами без использования алгоритма					
	№ специалиста				
	1	2	3	4	5
Процент оставшегося объема АВМ	50	65	68	55	65
Оценка процента оставшегося объема АВМ специалистами с использованием алгоритма					
Процент оставшегося объема АВМ	66,5	65	65,8	66	66,2
Расчетное количество Опух-18 по результатам работы алгоритма			Количество Опух-18, указанное в протоколе операции		
2,9 см <sup>3</sup>			3 см <sup>3</sup>		

и дифференцировать афферентные и эфферентные сосуды АВМ, форму узла и его топическое расположение, определить размеры АВМ. В современной литературе можно встретить несколько различных способов измерения объемов образований головного мозга, в том числе и АВМ. К таковым относятся измерение объема по формуле эллипса через три стороны [9, 10] и метод трейсинга — ручное выделение контура на каждом МР-изображении с последующим вычислением входящих вокселей в выделенную область [11]. Предложенный оригинальный подход в измерении объема обладает высокой точностью за счет включения в расчеты только сосудов узла мальформации и простотой в использовании. Используя данный способ, можно расширить круг необходимой информации, извлекаемой из МР-исследования. Так, способ позволяет вычислять до- и послеоперационный объемы АВМ, объем выключенной патологической сосудистой сети единицей объема Опух® LES-eV3 в каждом конкретном случае и среднестатистически. Опираясь на

точный показатель остаточного объема АВМ, более правильно подходить к подбору пациентов для лучевой терапии при отсутствии возможности тотальной эмболизации. Более того, учитывая необходимость стадийного лечения АВМ высокого потока и высоких градаций, появится возможность сравнить определение степени деваскуляризации АВМ с помощью двух методик: суперселективной ангиографии и МР-ангиографии, на до- и послеоперационном этапе, что позволит определить точность первой методики [1].

В случае сопоставимости двух методик появится возможность проводить интраоперационную оценку степени деваскуляризации АВМ с помощью ангиографии, а МР-ангиографию использовать как метод предоперационного планирования и контроля через 6 мес после операции с целью исключения реканализации тотально эмболизированной АВМ, тем самым исключить субъективизм оператора и упростить статистическую обработку данных на всех этапах.



Выявленная ошибка работы алгоритма в определении количества Опух<sup>®</sup> LES-eV3, максимально равная  $5,8 \pm 1,1\%$  ( $\pm m$ ) по относительному значению объема, связана не только с несовершенством структуры алгоритма, но и с неточностью данных при учете количества Опух<sup>®</sup> LES-eV3 оператором во время операции.

## Выводы

1. Созданный алгоритм показал свою эффективность в определении объема АВМ по данным МРТ (методом TOF с контрастированием).
2. Алгоритм может быть использован для получения на его основе программного обеспечения с последующим внедрением в клиническую практику нейрохирурга и радиолога.

## Список литературы

1. *Сергеев Г. С., Орлов К. Ю., Кривошапкин А. Л. и др.* Программное обеспечение для оценки степени деваскуляризации артериовенозных мальформаций // Патол. кровообращения и кардиохирургия. 2013. № 1. С. 25–28.
2. *Чупахин А. П., Черевко А. А., Хе А. К.* Измерения и анализ локальной церебральной гемодинамики у больных с сосудистыми мальформациями головного мозга // Там же. 2012. № 4. С. 27–31.
3. *Da Costa L., Wallace M. C., Ter Brugge K. G.* The natural history and predictive features of hemorrhage from brain arteriovenous malformations // Stroke. 2009. V. 40. № 1. P. 100–105.
4. *Dubourg J., Messerer M.* State of the art in managing nontraumatic intracerebral hemorrhage // Neurosurg. Focus. 2011. V. 30. № 6. P. 22.

5. *Fischbein N.J., Wijman C. A.* Nontraumatic intracranial hemorrhage // Neuroimag. Clin. N. Am. 2010. V. 20. № 4. P. 469–492.
6. *Gross B. A., Du R.* Natural history of cerebral arteriovenous malformations: a meta-analysis // J. Neurosurg. 2013. V. 118. № 2. P. 437–443.
7. *Kim H., McCulloch C. E., Johnston S. C.* Comparison of 2 approaches for determining the natural history risk of brain arteriovenous malformation rupture // Am J. Epidemiol. 2010. V. 171. № 12. P. 1317–1322.
8. *Laakso A., Hernesniemi J., Yonekawa Y.* Surgical Management of Cerebrovascular Disease // Springer. 2010. V. 15. P. 120.
9. *Sahlein D. H., Becske T., Nelson P. K.* Nidal embolization of brain arteriovenous malformations: rates of cure, partial embolization, and clinical outcome // J. of Neurosurg. 2012. V. 117. № 1. P. 65–77.
10. *Soltanolkotabi M., Schoeneman S. E., Alden T. D.* Onyx embolization of intracranial arteriovenous malformations in pediatric patients // J. of Neurosurg.: Pediatr. 2013. V. 11. № 4. P. 431–437.
11. *Sorensen G. A., Patel. S. K., Harmath C. B.* Comparison of Diameter and Perimeter Methods for Tumor Volume Calculation // JCO. 2001. V. 19. № 2. P. 551–557.

## References

1. *Sergeyev G. S., Orlov K. Yu., Krivoshapkin A. L.* New software to standardize the assessment of embolization of cerebral arteriovenous malformations. Circulation Pathology and Cardiac Surgery. 2013. N. 1. P. 25–28 (in Russian).
2. *Chupakhin A. P., Cherevko A. A., Khe A. K.* Measurement and analysis of cerebral hemodynamic parameters in the presence of brain vascular anomalies. Ibid. 2012. N. 4. P. 27–31 (in Russian).

3. *Da Costa L., Wallace M. C., Ter Brugge K. G.* The natural history and predictive features of hemorrhage from brain arteriovenous malformations. *Stroke*. 2009. V. 40. N. 1. P. 100–105.
4. *Dubourg J., Messerer M.* State of the art in managing nontraumatic intracerebral hemorrhage. *Neurosurg. Focus*. 2011. V. 30. N. 6. P. 22.
5. *Fischbein N. J., Wijman C. A.* Nontraumatic intracranial hemorrhage Neuroimaging Clin. N. Am. 2010. V. 20. N. 4. P. 469–492.
6. *Gross B. A., Du R.* Natural history of cerebral arteriovenous malformations: a meta-analysis. *J. Neurosurg.* 2013. V. 118. N. 2. P. 437–443.
7. *Kim H., McCulloch C. E., Johnston S. C.* Comparison of 2 approaches for determining the natural history risk of brain arteriovenous malformation rupture. *Am. J. Epidemiol.* 2010. 15. V. 171. N. 12. P. 1317–1322.
8. *Laakso A., Hernesniemi J., Yonekawa Y.* Surgical Management of Cerebrovascular Disease. Springer. 2010. V. 15. P. 120.
9. *Sahlein D. H., Becske T., Nelson P. K.* Nidal embolization of brain arteriovenous malformations: rates of cure, partial embolization, and clinical outcome. *J. of Neurosurg.* 2012. V. 117. N. 1. P. 65–77.
10. *Soltanolkotabi M., Schoeneman S. E., Alden T. D.* Onyx embolization of intracranial arteriovenous malformations in pediatric patients. *J. of Neurosurg.: Pediatr.* 2013. V. 11. N. 4. P. 431–437.
11. *Sorensen G. A., Patel. S. K., Harmath C. B.* Comparison of Diameter and Perimeter Methods for Tumor Volume Calculation. *JCO*. 2001. V. 19. N. 2. P. 551–557.

### Сведения об авторах

**Кривошапкин Алексей Леонидович**, доктор медицинских наук, профессор, член-корреспондент РАМН, руководитель Центра ангионеврологии и нейрохирургии ФГБУ «Новосибирский научно-исследовательский институт патологии кровообращения им. акад. Е. Н. Мешалкина» Минздрава России, заведующий кафедрой нейрохирургии ГБОУ ВПО «Новосибирский государственный медицинский университет» Минздрава России.  
Адрес: 630055, г. Новосибирск, ул. Речкуновская, д. 15.  
Тел.: +7 (913) 986-91-61. Электронная почта: alkr01@yandex.ru

**Krivoshapkin Alexei Leonidovich**, M. D. Med., Professor, Corresponding Member of RAMN Sciences, Chief of Angioneurology and Neurosurgery Centre, Novosibirsk Research Institute of Circulation Pathology Acad. E. N. Meshalkin, Ministry of Healthcare of Russia, Chairman of Neurosurgical Department, Novosibirsk State Medical University, Ministry of Healthcare of Russia.  
Address: 630055, Russia, Novosibirsk, Rechkunovskaya st., 15.  
Phone number: +7 (383) 347-60-06. E-mail: alkr01@yandex.ru

**Орлов Кирилл Юрьевич**, кандидат медицинских наук, заведующий отделением нейрохирургии, руководитель научной группы эндоваскулярной нейрохирургии ФГБУ «Новосибирский научно-исследовательский институт патологии кровообращения им. акад. Е. Н. Мешалкина» Минздрава России, ассистент кафедры нейрохирургии ГБОУ ВПО «Новосибирский государственный медицинский университет» Минздрава России.  
Адрес: 630055, г. Новосибирск, ул. Речкуновская, д. 15.  
Тел.: +7 (913) 707-89-73. Электронная почта: orlov72@mail.ru

**Orlov Kirill Yurevich**, Ph. D. Med., Head of Neurosurgery Department, Chief of Endovascular Neurosurgery Research Group, Novosibirsk Research Institute of Circulation Pathology Acad. E. N. Meshalkin, Ministry of Healthcare of Russia, Assistant Professor of Neurosurgical Department, Novosibirsk State Medical University, Ministry of Healthcare of Russia.  
Address: 630055, Russia, Novosibirsk, Rechkunovskaya st., 15.  
Phone number: +7 (913) 707-89-73. E-mail: orlov72@mail.ru

**Панарин Вячеслав Александрович**, врач-нейрохирург, ФГБУ «Новосибирский научно-исследовательский институт патологии кровообращения им. акад. Е. Н. Мешалкина» Минздрава России.  
Адрес: 630055, г. Новосибирск, ул. Речкуновская, д. 15.  
Тел.: +7 (913) 793-43-32. Электронная почта: p0203@mail.ru

**Panarin Vyacheslav Alexandrovich**, Neurosurgeon, Department of Neurosurgery, Novosibirsk Research Institute of Circulation Pathology Acad. E. N. Meshalkin, Ministry of Healthcare of Russia.  
Address: 630055, Russia, Novosibirsk, Rechkunovskaya st., 15.  
Phone number: +7 (913) 793-43-32. E-mail: p0203@mail.ru

**Сергеев Глеб Сергеевич**, ординатор кафедры нейрохирургии ГБОУ ВПО «Новосибирский государственный медицинский университет» Минздрава России.  
Адрес: 630091, г. Новосибирск, Красный проспект, д. 52.  
Тел.: +7 (923) 150-48-55. Электронная почта: dr.gsergeev@gmail.com

**Sergeev Gleb Sergeevich**, Resident of Neurosurgical Department, Novosibirsk State Medical University, Ministry of Healthcare of Russia.  
Address: 630091, Russia, Novosibirsk, Krasny prospect, 52.  
Phone number: +7 (923) 150-48-55. E-mail: dr.gsergeev@gmail.com

**Курбатов Владислав Петрович**, кандидат медицинских наук, старший научный сотрудник, заведующий отделом лучевой и функциональной диагностики, заведующий отделением рентгеновской компьютерной томографии ФГУ «Новосибирский научно-исследовательский институт патологии кровообращения им. акад. Е. Н. Мешалкина» Минздрава России.  
Адрес: 630055, г. Новосибирск, ул. Речкуновская, д. 15.  
Тел.: +7 (383) 347-60-06. Электронная почта: vk73@mail.ru

**Kurbatov Vladislav Petrovich**, Ph. D. Med., Senior Researcher, Head of Department of Radiological and Functional Diagnostics, Head of the X-ray Computed Tomography Department, Novosibirsk Research Institute of Circulation Pathology acad. E. N. Meshalkin, Ministry of Healthcare of Russia.  
Address: 630055, Russia, Novosibirsk, Rechkunovskaya st., 15.  
Phone number: +7 (383) 347-60-06. E-mail: vk73@mail.ru

**Таранцев Игорь Геннадьевич**, ведущий инженер-программист лаборатории программных систем машинной графики, ФГБУН «Институт автоматизации и электрометрии» Сибирского отделения РАН, доцент кафедры автоматизации физико-технических исследований, ФГБОУ ВПО «Новосибирский национальный исследовательский государственный университет», физический факультет.  
Адрес: 630090, г. Новосибирск, проспект Академика Коптюга, д. 1.  
Тел.: +7 (913) 918-21-86. Электронная почта: egor@sl.iae.nsk.su

**Tarantsev Igor Gennad'evich**, Senior Software Engineer Software Systems Laboratory Computer Graphics, Institution of the Russian Academy of Sciences. Institute of Automation and Electrometry, Assistant Professor of Physics and automation technology research, Department of Physics, Novosibirsk State University.  
Address: 630090, Russia, Novosibirsk, Akademika Koptyuga st., 1.  
Phone number: +7 (913) 918-21-86. E-mail: egor@sl.iae.nsk.su

**Кальнеус Леонид Евгеньевич**, студент, ФГБОУ ВПО «Новосибирский национальный исследовательский государственный университет», кафедра химической физики и биофизики физического факультета.  
Адрес: 630090, Новосибирск, ул. Пирогова, д. 2.  
Тел.: +7 (953) 878-91-31. Электронная почта: l.kalneus@yandex.ru

**Kalneus Leonid Eugen'evich**, Student, Department of Chemical Physics and Biophysics, Faculty of Physics Novosibirsk State University.  
Address: 630090, Russia, Novosibirsk, Pirogov st., 2.  
Phone number: +7 (953) 878-91-31. E-mail: l.kalneus@yandex.ru

*Авторы заявляют, что данная работа, ее тема, предмет и содержание не затрагивают конкурирующих интересов.*