

# Ротационная ангиография и ее роль в современной клинической практике

В.П.Климов<sup>1,2</sup>, А.В.Азаров<sup>1,3</sup>, С.П.Семитко<sup>✉1,2</sup>, Н.В.Верткина<sup>2</sup>

<sup>1</sup>ФГБОУ ДПО «Институт повышения квалификации» ФМБА России. 125371, Россия, Москва, Волоколамское ш., д. 91;

<sup>2</sup>ГБУЗ «Городская клиническая больница им. В.В.Вересаева». 127644, Россия, Москва, ул. Лобненская, д. 10;

<sup>3</sup>ГБУЗ МО «Мытищинская городская клиническая больница». 141009, Россия, Московская область, Мытищи, ул. Коминтерна, д. 24

✉ semitko@mail.ru

На сегодняшний день, несмотря на преимущества неинвазивных методов диагностики, прямое ангиографическое исследование играет главную роль в оценке состояния сосудистого русла, оставаясь общепризнанным «золотым стандартом». Метод постоянно совершенствуется. В настоящее время возможно использование ротационной плоскопанельной ангиографии с последующим 3D-моделированием. Изначально ротационная ангиография применялась главным образом в нейрорадиологии. Развитие медицинских технологий сделало возможным 3D-реконструкцию объекта по обычным ангиографическим изображениям. Метод 3D-ангиографии стал использоваться в диагностике поражения и других сосудистых бассейнов, при планировании оперативного вмешательства и оценке результатов лечения. Однако, несмотря на все свои положительные стороны, ротационная ангиография рутинно не применяется так широко, как того заслуживает. Для иллюстрации возможностей применения метода в условиях городской клинической больницы представлен ряд клинических примеров из повседневной практики работы Регионального сосудистого центра ГБУЗ «ГКБ им. В.В.Вересаева» Департамента здравоохранения г. Москвы.

**Ключевые слова:** ротационная ангиография, 3D-ангиография, стентирование.

**Для цитирования:** Климов В.П., Азаров А.В., Семитко С.П., Верткина Н.В. Ротационная ангиография и ее роль в современной клинической практике. Consilium Medicum. 2017; 19 (1): 42–49.

## Review. Thechnical Note

### Rotational angiography and the role of rotational angiography in modern clinical practice

V.P.Klimov<sup>1,2</sup>, A.V.Azarov<sup>1,3</sup>, S.P.Semitko<sup>✉1,2</sup>, N.V.Vertkina<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Institute of Professional Development of FMBA of Russia. 125371, Russian Federation, Moscow, Volokolamskoe sh., d. 91;

<sup>2</sup>V.V.Veresev City Clinical Hospital. 127644, Russian Federation, Moscow, ul. Lobnenskaia, d. 10;

<sup>3</sup>Mytischki City Clinical Hospital. 141009, Russian Federation, Moscow Region, Mytischki, ul. Komintern, d. 24

✉ semitko@mail.ru

#### Abstract

Nowadays, despite the advantages of non-invasive methods of diagnosis, direct angiography plays a key role in examining the blood vessels, and remains the gold standard. The method continues updating. It is possible to use rotational flat-panel angiography followed by 3D modeling, nowadays. Rotational angiography has been mainly used in neuroradiology procedures. The development in medical technologies has made it possible to acquire object-based 3D reconstruction method for evaluating angiographic images. 3D angiography has been used in the diagnosis of damage in vascular territories when planning the surgery or estimating the results of treatment. However, despite all of the benefits, rotational angiography is not routinely used as it deserves. To illustrate the use of this method in practice of city clinical hospital we show clinical cases as a part of the everyday practice of Regional Vascular Center SFHI City Clinical Hospital named after V.V.Veresev, Moscow Health Department.

**Key words:** rotational angiography, 3D angiography, stenting.

**For citation:** Klimov V.P., Azarov A.V., Semitko S.P., Vertkina N.V. Rotational angiography and the role of rotational angiography in modern clinical practice. Consilium Medicum. 2017; 19 (1): 42–49.

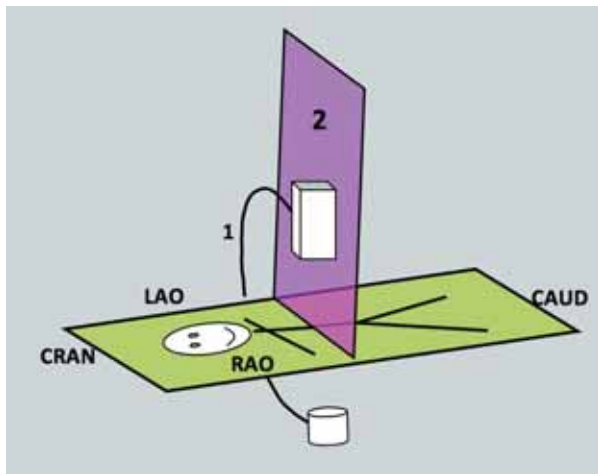
Б урное развитие медицинских технологий сделало возможным получение изображения сосудов неинвазивными методами. Для визуализации неподвижных сосудистых регионов (аорта, висцеральные ветви, артерии нижних конечностей, магистральные артерии шеи и головы) и высокодинамичных объектов (сердце и коронарные артерии) успешно применяют мультиспиральную компьютерную томографию с контрастированием (МСКТ-ангиография), магнитно-резонансную томографию [1–4]. Однако, несмотря на очевидные преимущества неинвазивных методов в аспектах скрининга пациентов и предоперационного планирования, прямое ангиографическое исследование продолжает играть главную роль в интраоперационной оценке состояния сосудистого русла, как и в оценке непосредственных результатов вмешательства в нейро-, кардио- и сосудистой хирургии, оставаясь общепризнанным «золотым стандартом» [5, 6]. При этом метод прямой ангиографии продолжает развиваться: совершенствуются

инструменты для зондирования, аппаратная часть и программное обеспечение. К стандартным полипроекционным методам регистрации изображения добавились возможности ротационной плоскопанельной ангиографии с последующим 3D-моделированием [7–10], что позволило значительно расширить возможности метода [11–13]. Следует отдельно подчеркнуть большую диагностическую ценность новых методик при равных или меньших дозах облучения и меньшей потребности в использовании рентгеноконтрастного вещества [14–16].

#### Из истории развития метода

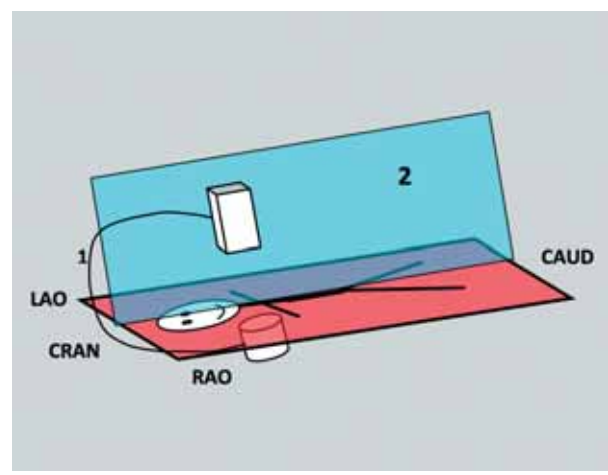
Первые системы для ротационной ангиографии стали применяться главным образом в нейрорадиологии [17, 18], после того как К. Voigt и соавт. в 1975 г. [19] ввел в клиническую практику использование ротационной церебральной рентгенографии, впервые предложенной G. Cornelis и соавт. в 1972 г. [20]. В основе метода лежит высокоско-

Рис. 1. Поперечная плоскость ротации рентгеновской трубки.



Примечание. 1 – С-арка с источником излучения; 2 – поперечная плоскость движения рентгеновской трубки; RAO/LAO – правая/левая косая проекция (направления ротации рентгеновской трубки в поперечной плоскости); CRAN/CAUD – краниальное/каудальное направления ангуляции поперечной плоскости.

Рис. 2. Сагиттальная плоскость ротации рентгеновской трубки.



Примечание. 1 – С-арка с источником излучения; 2 – сагиттальная плоскость движения рентгеновской трубки; RAO/LAO – правая/левая косые проекции (направления ангуляции сагиттальной плоскости); CRAN/CAUD – краниальное/каудальное направления ротации рентгеновской трубки в сагиттальной плоскости.

ростная рентгенография во время вращения С-дуги с источником излучения вокруг исследуемого объекта [20]. Возможности метода расширяются при использовании рентгеноконтрастного усиления, когда во время ротации рентгеновской трубки выполняется введение контрастного вещества с заданной скоростью через автоматический иньектор [19]. Данный способ получения изображения можно сравнить с киносъемкой объекта движущимся вокруг него оператором. Полученное по этой методике изображение, например контрастированных сосудов, представляет собой множество ангиограмм, выполненных в последовательности проекций [18–20]. В дальнейшем стало возможным во время выполнения ротационной ангиографии использовать дигитальную субтракцию, когда первым этапом снимается так называемая «маска» или изображение без контрастирования, а второй «пробег» С-дуги регистрирует изображение уже заполненных рентгеноконтрастным веществом сосудов. Окончательное изображение формируется в режиме реального времени путем вычитания «маски» фона, что позволяет получить объемное изображение контрастированного сосудистого «дерева» без посторонних объектов [12].

При выполнении ротационной дигитальной субтракционной ангиографии (РДСА) устанавливаются определенные значения ряда параметров, которые можно условно разделить на 3 группы [21–23]:

- 1) параметры ротации С-дуги (плоскости и угловой диапазон движения, направление и угловая скорость ротации);
- 2) параметры контрастирования объекта (объем и скорость введения контрастного вещества, время задержки начала рентгенографии относительно начала иньекции);
- 3) параметры регистрации рентгеновского изображения (разрешение матрицы и скорость регистрации или количество кадров в секунду).

В зависимости от анатомического расположения объекта исследования выбирают наиболее оптимальные плоскости ротации источника излучения, используя как поперечную, так и сагиттальную плоскости. При этом основная плоскость ротации может быть еще и наклонена в каудальном или краниальном направлениях (рис. 1).

Сагиттальную плоскость движения можно использовать с наклоном в боковых направлениях – RAO или LAO (рис. 2) [23]. От правильного выбора значений вышеперечисленных параметров РДСА зависит качество изображе-

ния, которое представляет собой последовательность множества отдельных изображений, каждое из которых получено при рентгенографии объекта под определенным углом. Возможен покадровый анализ полученных изображений, а непрерывный просмотр всех проекций контрастированного объекта создает стереовизуальный эффект ротации – объект «разворачивается» перед исследователем на экране монитора в заданном угловом диапазоне [22, 23].

Преимущества РДСА перед традиционной ангиографией способствовали широкому распространению новой методики, которая стала использоваться для изучения сосудов не только головного мозга, но и других областей. Многие авторы в своих публикациях представляют результаты успешного применения РДСА в исследованиях сонных артерий [9, 14, 15, 24], сосудов головного мозга [8, 17, 18, 25–29], интракраниальных аневризм [12, 21, 30, 31], грудной аорты [13], брюшной аорты и ее висцеральных ветвей [7, 11, 32], артерий таза и артерий нижних конечностей [4, 33], сосудов сердца (коронарных артерий и коронарного синуса), аортокоронарных шунтов у больных, перенесших хирургическое лечение ишемической болезни сердца [34–37]. J.Biederer и соавт. отметили метод РДСА при оценке стенозов в области бифуркации сонных артерий как наиболее точный и представили свои данные в сравнении с обычной дигитальной субтракционной ангиографией (ДСА) в трех стандартных проекциях, продемонстрировав 100% специфичность и 94% чувствительность метода РДСА [9]. При этом доза лучевой нагрузки была эквивалентна дозе, полученной при выполнении одной проекции методом неподвижной ДСА [9]. К такому же выводу пришел и O.Elgersma и соавт. при исследовании состояния внутренних сонных артерий. По его данным, классическая ДСА в общепринятых проекциях имеет ограниченные возможности в выявлении значений стенозов по сравнению с РДСА [15]. Представляет интерес сообщение Н.Тажина и соавт. об успешном применении РДСА при исследовании аорты, когда четко визуализировались разрывы интимы и ложный канал с вовлечением крупных ветвей аорты [7]. Есть опыт успешного использования РДСА в диагностике объемных образований печени, таких, например, как гепатоцеллюлярная карцинома [38].

В 1990-е годы многие исследователи вели работу по усовершенствованию метода РДСА [25, 29, 39–43], в том числе с использованием двух источников излучения – биплановой РДСА, и развитию стереоскопической ангиографии –

**Рис. 3. ДСА-изображение грудной аорты (мешотчатая аневризма аорты).**



прототипа ротационной цифровой ангиографической системы, которую Т.Кумазакі (1991 г.) назвал аппаратом «компьютерной динамической стереографии» [39]. При этом трехмерное изображение объекта обеспечивалось двумя специальными системными дисплеями, установленными рядом, с разницей поворота друг к другу в 5°, и использованием стереоскопических очков, что создавало оптический эффект объемного изображения объекта [39].

Прогресс компьютерных технологий позволил подняться на новый качественный уровень в области получения и обработки ангиографических изображений, что ознаменовалось введением в клиническую практику в 1997 г. группой R.Fahrig компьютеризированной ротационной ангиографии [44]. В предложенной системе генерируется реальное 3D-изображение сосудов на основании компьютерной реконструкции данных каждой из множества проекций объекта, полученных при обычной РДСА [42]. Для этого все данные передаются на специальную рабочую станцию, а полученное изображение анализируется исследователем на одном из мониторов этой станции. Данная технология обеспечивает 3D-реконструкцию изображения сосудистого дерева с высоким качеством разрешения и, используя рабочую станцию, позволяет работать в онлайн-режиме и выполнять измерения параметров 3D-модели (3D-морфометрия) для обеспечения и оценки результатов эндоваскулярных вмешательств [5, 12, 28, 32].

Сравнивая результаты церебральной 3D-ангиографии с реальными находками в ходе нейрохирургических операций, исследователи показали полную корреляцию данных (форма и размеры аневризм сосудов головного мозга, размеры так называемой шейки аневризмы, характеристика афферентных и эфферентных сосудов). Нет сомнений в том, что 3D-ангиография дает возможность специалисту-нейрохирургу получить понимание объемной структуры аневризм, что совершенно необходимо при планировании и выполнении нейрохирургического вмешательства [31].

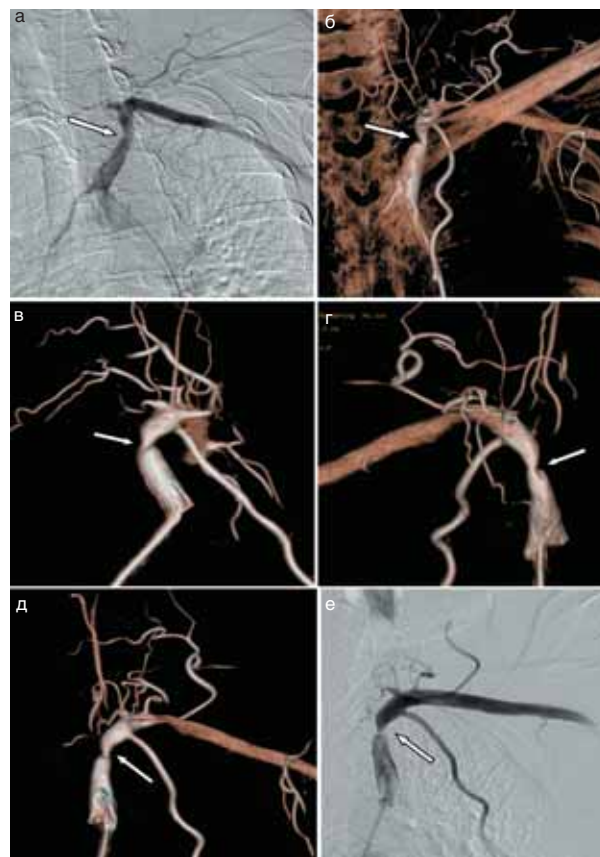
Такого же мнения придерживаются U.Ernemann и соавт., которые считают, что 3D-ангиография информативнее стандартной ДСА в диагностике аневризм сосудов головного мозга и может с успехом применяться для планирования и выполнения эндоваскулярных интервенционных процедур в нейрорадиологии [5]. Группу авторов поддерживают и другие исследователи, использующие метод для диагностики и планирования операций по поводу артериальных внутримозговых аневризм [45, 46]. По данным M.Carsin и соавт. (1997 г.), применяющих 3D-ангиографию для 3D-морфометрии при мальформации сосудов головного мозга, метод способствует лучшему распознаванию коллатеральных ветвей сосудистой мальформации и помогает улучшению идентификации возможных сложностей в лечении [27].

Метод 3D-ангиографии стал использоваться не только в интервенционной нейрорадиологии. К его помощи прибегают также при эндоваскулярном лечении висцеральных артерий, при катетерной эмболизации сосудов, и при этом исследователи единодушны в том, что точность метода 3D-ангиографии в измерении диаметра артерий, оценке и

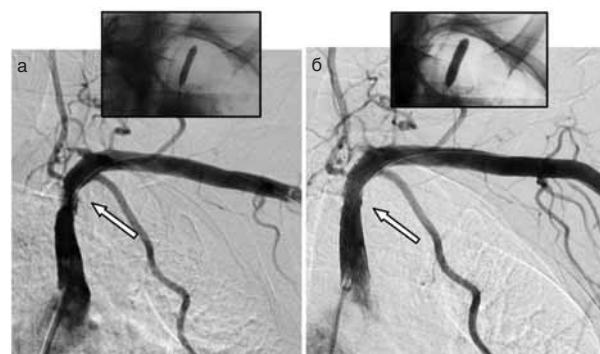
**Рис. 4. 3D-изображение грудной аорты.**



**Рис. 5. ДСА и 3D-изображения левой подключичной артерии. Оптимальные проекции для достоверного определения степени стеноза и стентирования определяются по данным 3D-ангиографии.**



**Рис. 6. ДСА-изображения: а – предилатация, б – стентирование левой подключичной артерии.**



контроле эффективности эмболизации, расценивается как очень высокая [32, 47]. Также есть сообщения о применении 3D-ангиографии коронарного синуса при ресинхронизирующей терапии [48, 49].

Рис. 7. 3D-ангиография – результат стентирования левой подключичной артерии.

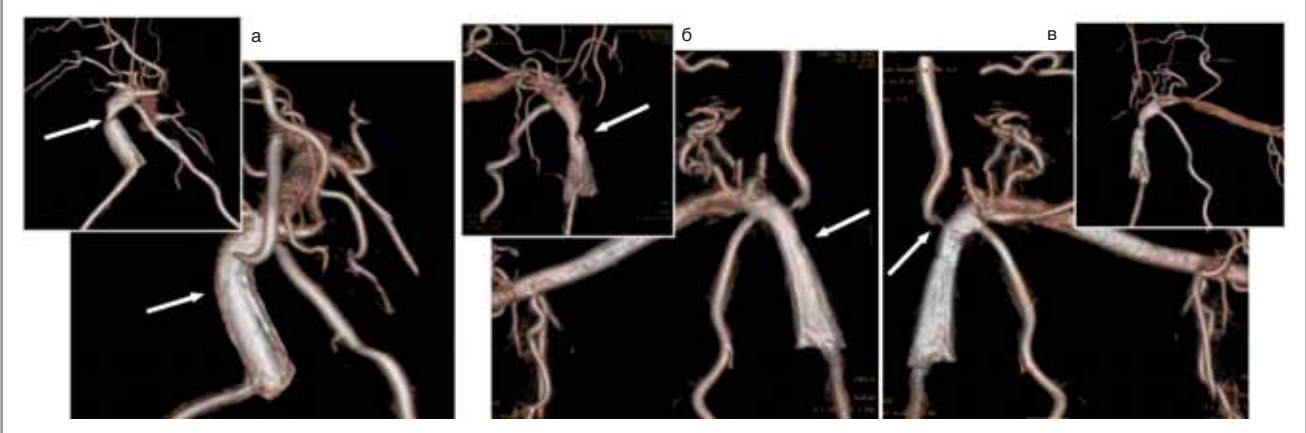


Рис. 8. а, б – ДСА, прямая и боковая проекции; в, г – МСКТ-ангиография – мешотчатая аневризма передней соединительной артерии (показана стрелками).

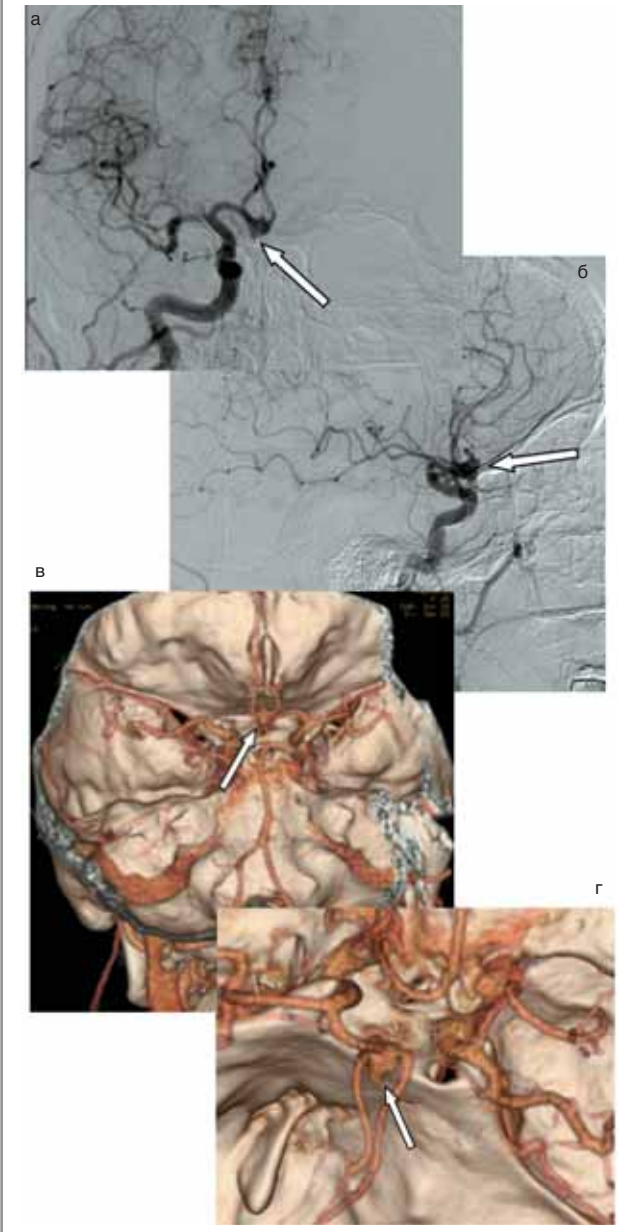


Рис. 9. 3D-ангиография – мешотчатая аневризма передней соединительной артерии (показана стрелками). Изображения без дополнительной обработки на рабочей станции.

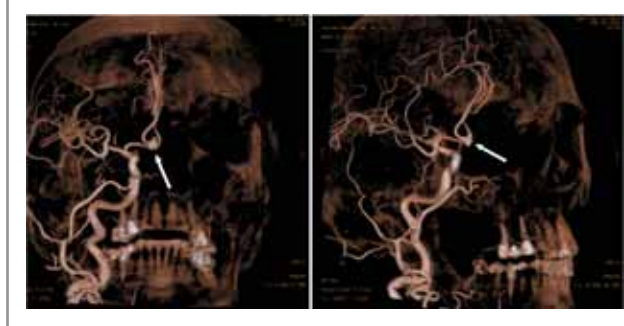
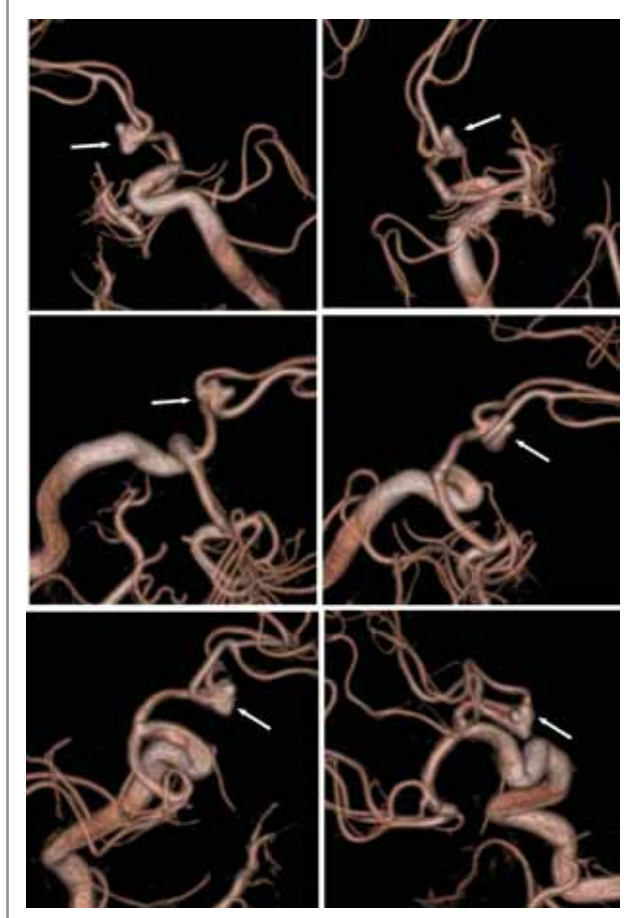
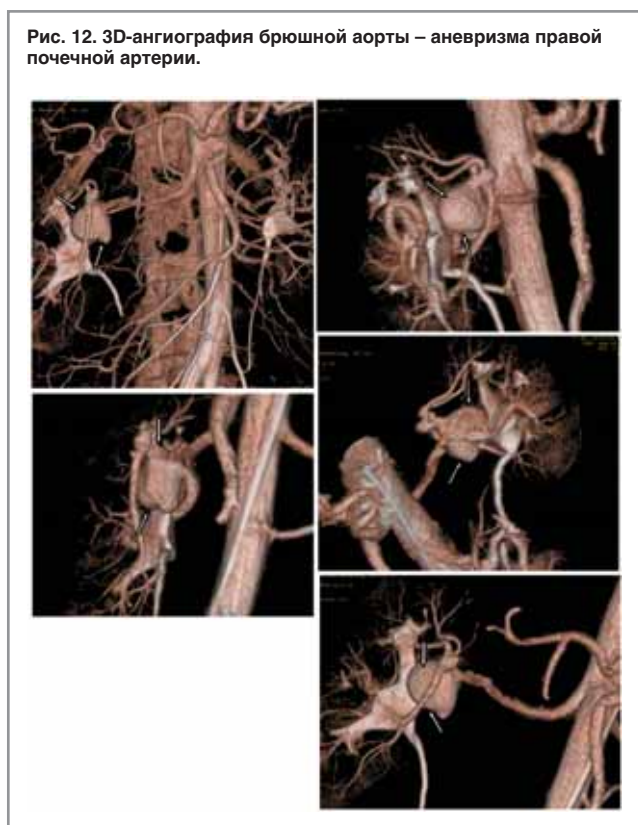


Рис. 10. 3D-ангиография – мешотчатая аневризма передней соединительной артерии (показана стрелками). Выполнена 3D-реконструкция с дополнительной обработкой изображения на рабочей станции.



В настоящее время ангиографический способ исследования сосудов, в частности 3D-ангиография, продолжает совершенствоваться. Если в 2000 г. для подготовки трехмерного изображения сосудов по 2D-ангиограммам, по-

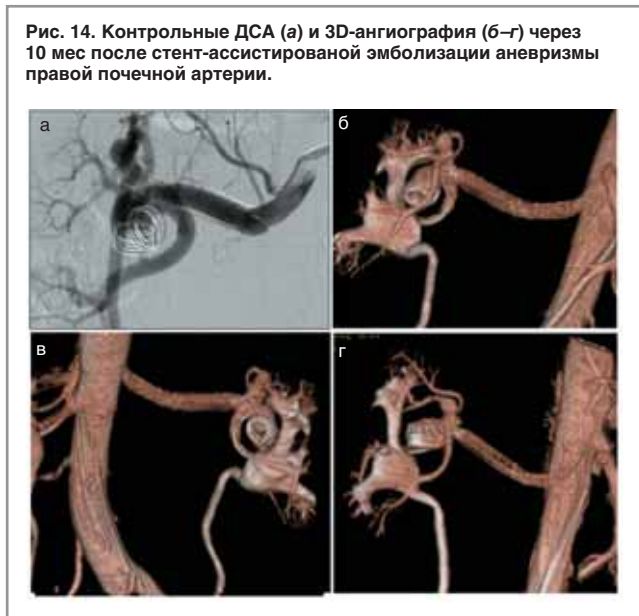


лученным при РДСА, требовалось до 20–30 мин [46], то уже в 2001 г. рабочая станция выполняла эту работу всего за 8 мин [32]. Сегодня необходимое для реконструкции 3D-изображения время составляет менее 1 мин. Несмотря на очевидные положительные стороны 3D-ангиографии данная методика используется не так широко, как того заслуживает. Поскольку выбор адекватной тактики лечения больных сосудистыми заболеваниями зависит от качества диагностики, улучшение рентгеноконтрастного метода исследования как одного из основных является весьма актуальным. В связи с этим представляется важным дальнейшее изучение возможностей ротационной ангиографии с 3D-реконструкцией и более широкое применение метода у пациентов в условиях реальной клинической работы.

В качестве примера использования метода в условиях ГБУЗ «ГКБ им. В.В.Вересаева» (г. Москва) приводим несколько клинических случаев из повседневной практики работы регионального сосудистого центра, которые наглядно иллюстрируют современные возможности ротационной ангиографии различных сосудистых бассейнов, помогая в определении оптимальной тактики и в достижении оптимальных результатов лечения.

#### **1-й клинический пример**

Грудная аорта (разрыв аневризмы аорты). Определяется экстравазальное контрастирование с накоплением и



задержкой контрастного вещества неправильной округлой формы на границе дуги аорты и нисходящей аорты (рис. 3).

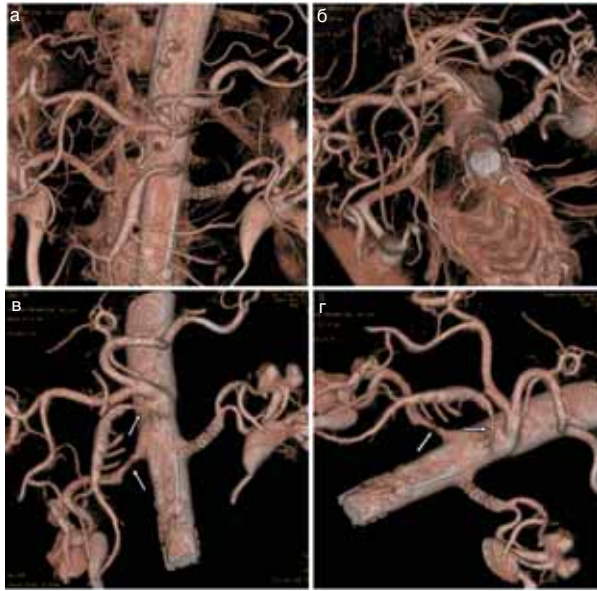
При анализе 3D-изображений грудной аорты определяется анатомия проксимальных отделов брахиоцефальных артерий, место разрыва и форма формирующегося мешка аневризмы, его размеры и направление распространения. Особое значение имеет определение топологии и геометрии места разрыва, вовлеченность и анатомия соседних сосудистых и анатомических структур (рис. 4).

#### **2-й клинический пример**

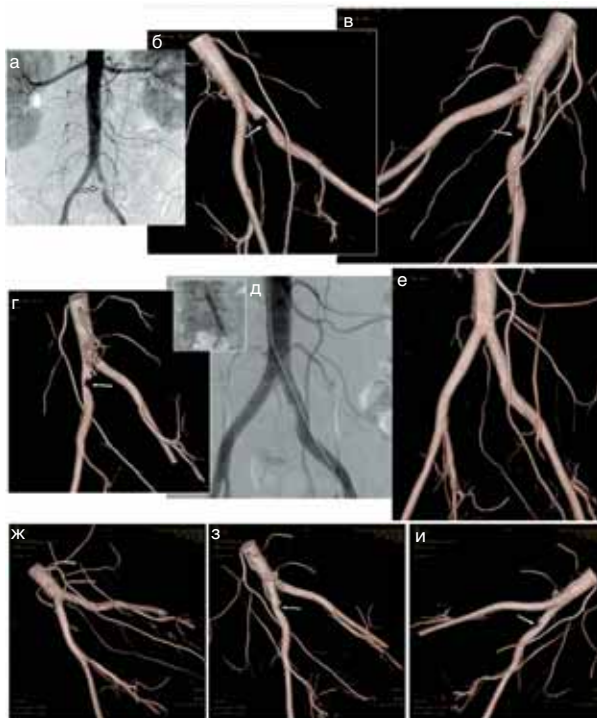
Левая подключичная артерия (стеноз; эндоваскулярное лечение); рис. 5, 6.

Баллонная ангиопластика, стентирование, 3D-ангиография – контроль результата стентирования. Для сравнения представлены изображения в «парах» (до и после) имплантации стента, в одинаковых проекциях. Кроме восстановления просвета подключичной артерии (рис. 7, а, б), не-

**Рис. 16.** Контрольная 3D-ангиография через 6 мес после стентирования левой почечной артерии. а, б – изображения 3D-реконструкции без дополнительной обработки на рабочей станции. в, г – после обработки и выделения области целевых сосудов. Хороший результат стентирования левой почечной артерии. Помимо пораженной левой почечной артерии, определяются пограничный стеноз правой почечной артерии и резкий протяженный стеноз верхней брыжеечной артерии (указано стрелками).

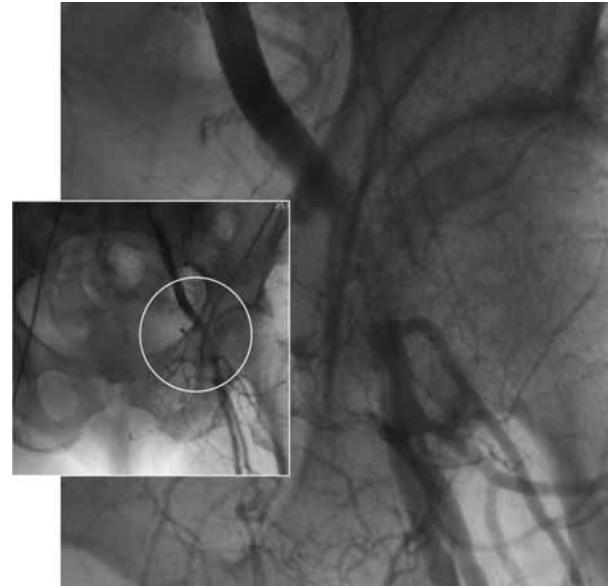


**Рис. 17.** Этапы диагностики и стентирования левой общей подвздошной артерии: а – аортография (ДСА); б–г – 3D-реконструкция изображений ротационной ангиографии артерий таза. Критический стеноз левой ОПА (указано стрелкой); д – имплантация стента (изображение ДСА); е–и – 3D-ангиография артерий таза – приемлемый результат стентирования левой общей подвздошной артерии. При анализе изображений определяется незначительный резидуальный стеноз (з, и – указано стрелкой) из-за массивной кальцинированной бляшки.

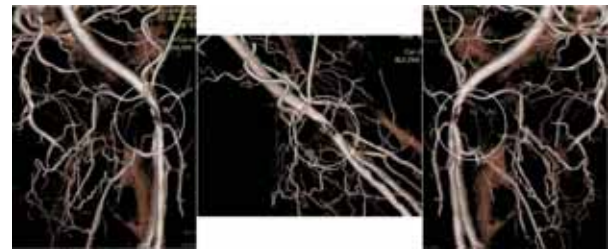


обходимо отметить восстановление антеградного кровотока по вертебральной артерии, которая до вмешательства заполнялась ретроградно, обеспечивая так называемый стилл-синдром (рис. 7, в).

**Рис. 18.** Селективная DA-ангиография левой общей подвздошной артерии, контрлатеральный доступ. Зона интереса – общая бедренная артерия, резкое ухудшение кровотока, предположительно субокклюзия общей бедренной артерии.



**Рис. 19.** 3D-ангиография артерий таза. Субтотальный стеноз общей бедренной артерии.



**Рис. 20.** 3D-ангиография артерий таза. Хороший результат стентирования общей бедренной артерии.



### 3-й клинический пример

Правая внутренняя сонная артерия (мешотчатая аневризма передней соединительной артерии); рис. 8, 9.

Возможность просмотра 3D-модели «с любой стороны» значительно упрощает нейрохирургу работу на этапе подготовки и планирования оперативного вмешательства (рис. 10).

### 4-й клинический пример

Эмболизация аневризмы почечной артерии при фибромышечной дисплазии (рис. 11–14).

Поражение почечной артерии при фибромышечной дисплазии в ряде случаев проявляется не только значимыми сужениями артерии, но и наличием разновеликих мешотчатых аневризм. Так, на примере определяется

гигантская аневризма в воротах правой почки. Наиболее полно образование визуализируется при 3D-ангиографии.

Через 10 мес определяется полное редуцирование кровотока в аневризме правой почечной артерии. При этом сохранены все сегментарные ветви (сравнение с предоперационными 3D-изображениями – см. рис. 12).

#### 5-й клинический пример

Стентирование левой почечной артерии (рис. 15, 16).

#### 6-й клинический пример

Стентирование левой общей подвздошной артерии (рис. 17).

#### 7-й клинический пример

Стентирование левой общей бедренной артерии. При антеградной ангиографии левой общей подвздошной артерии (контрлатеральный доступ) выявлено резкое замедление кровотока, однако нет визуализации пораженного участка общей бедренной артерии и возможности определения степени и протяженности стеноза сосуда (рис. 18). При 3D-ангиографии четко определяется уровень и степень поражения (рис. 19), что делает возможным эндоваскулярное лечение (рис. 20).

#### Литература/References

- Беленков Ю.Н., Терновой С.К., Сеницын В.Е. Магнитно-резонансная томография сердца и сосудов. М.: Видар, 1997; с. 144. / Belenkov Ju.N., Ternovoi S.K., Sinityn V.E. Magnitno-rezonansnaia tomografiia serdtsa i sosudov. M.: Vidar, 1997; s. 144. [in Russian]
- Сеницын В.Е., Дадвани С.А., Артюхина Е.Г. и др. Компьютерная томографическая ангиография в диагностике атеросклеротических поражений аорты и артерий нижних конечностей. Ангиология и сосудистая хирургия. 2000; 2: 37–44. / Sinityn V.E., Davvani S.A., Artiukhina E.G. i dr. Komp'yuternaya tomograficheskaya angiografiia v diagnostike ateroskleroticheskikh porazhenii aorty i arterii nizhnikh konechnostei. Angiologiya i sosudistaia khirurgiia. 2000; 2: 37–44. [in Russian]
- Kreuzer SH, Prokop M, Ahmadi R et al. Grading of carotid artery stenoses with multislice CT-angiography: comparison with DSA. Cardiovasc Intervent Radiol 2001; 24 (Suppl. 1): S160.
- Mallouhi A, Rieger M, Czermak B et al. Renal multi-slice spiral-CT angiography: the role of three-dimensional reconstructions in follow-up of renal artery stenting. Cardiovasc Intervent Radiol 2001; 24 (Suppl. 1): S160.
- Ernemann U, Skalej M, Guervit O et al. 3D-angiography in planning the treatment of cerebral aneurysms. Electromedica 2000; 68: 31–6.
- Paulin S. Coronary angiography, past, present and future. Cardiovasc Intervent Radiol 2001; 24: S232–S233.
- Tajima H, Kumazaki T, Gemma K et al. Clinical assessment rotational digital angiography for the diagnosis of aortic dissection. Nippon Igaku Hoshasen Gakkai Zasshi 1990; 50 (Suppl. 12): 1608–10.
- Климов В.П., Щиголов Ю.С., Никитин В.Г. и др. Ротационная цифровая ангиография с субтракцией в диагностике заболеваний головного мозга. В кн.: Неотложная медицинская помощь. Материалы науч.-практ. конф. ГВКГ им. Н.Н.Бурденко. М., 1998; с. 219–20. / Klimov V.P., Shchigolev Ju.S., Nikitin V.G. i dr. Rotatsionnaia tsifrovaia angiografiia s subtraksiei v diagnostike zabozevanii golovnogo mozga. V kn.: Neotlozhnaia meditsinskaia pomoshch'. Materialy nauch.-prakt. konf. GVKG im. N.N.Burdenko. M., 1998; s. 219–20. [in Russian]
- Biederer J, Link J, Peter D et al. Rotational digital subtraction angiography of carotid bifurcation stenosis. Rofo Fortschr Geb Rontgenstr Neuen Bildgeb Verfahr 1999; 171: 283–9.
- Климов В.П., Кучеров В.В., Залесов В.Е. и др. Ротационная цифровая ангиография с субтракцией при определении проходимости аутовенозных аортокоронарных шунтов. В кн.: Неотложная медицинская помощь. Материалы науч.-практ. конф. ГВКГ им. Н.Н.Бурденко. М., 1998; с. 220–1. / Klimov V.P., Kucherov V.V., Zalesov V.E. i dr. Rotatsionnaia tsifrovaia angiografiia s subtraksiei pri opredelenii prokhodimosti avtovenoznykh aortokoronarnykh shuntov. V kn.: Neotlozhnaia meditsinskaia pomoshch'. Materialy nauch.-prakt. konf. GVKG im. N.N.Burdenko. M., 1998; s. 220–1. [in Russian]
- Klein HM, Vorwerk D, Neuerburg J, Günther RW. Rotational angiography of the renal arteries. Fortschr Röntgenstr 1995; 162: 249–51.
- Ernemann U, Guervit O, Siekmann R, Skalej M. Rotational angiography: Diagnostic value and application in interventional neurology. Cardiovasc Intervent Radiol 2001; 24 (Suppl. 1): S109–S110.
- Klimov V, Ardashev A. Advantages of rotational DSA in the assessment of ascending aorta in post-CABG angina patients. Eur Radiol 2003; 13 (10): H24.
- Waggershauser T. Digital subtraction rotational angiography (dynavision plus) in clinical application. Electromedica 1998; 66 (Suppl. 5): 2–7.
- Elgersma OE, Buijs PS, Wust AF et al. Maximum internal carotid arterial stenosis: assessment with rotational angiography versus conventional intraarterial digital subtraction angiography. Radiology 1999; 213: 777–83.
- Климов В.П. Эффективность использования ротационной цифровой субтракционной ангиографии при селективном рентгеноконтрастном исследовании проходимых аутовенозных аортокоронарных шунтов у больных ИБС после операции аортокоронарного шунтирования: экономический аспект. Бюллетень НЦССХ им. А.Н.Бакулева РАМН. 2003; 4 (6): 176. / Klimov V.P. Effektivnost' ispol'zovaniia rotatsionnoi digital'noi subtraksionnoi angiografii pri selektivnom rentgenokonstrastnom issledovanii prokhodimykh avtovenoznykh aortokoronarnykh shuntov u bol'nykh IBS posle operatsii aortokoronarnogo shuntirovaniia: ekonomicheskii aspekt. Biulleten' NTSSKh im. A.N.Bakuleva RAMN. 2003; 4 (6): 176. [in Russian]
- Takahashi M, Ozawa Y. Routine biplane cerebral angiography with stereoscopic magnification. Radiology 1980; 136: 113–7.
- Thron A, Voigt K. Rotational cerebral angiography: procedure and value. Am J Neurorad 1983; 4: 289–91.
- Voigt K, Stoeter P, Petersen D. Rotational cerebral roentgenography. Evaluation of the technical procedure and diagnostic application with model studies. Neuroradiology 1975; 10: 95–100.
- Cornelis G, Bellet A, Van Eygen B et al. Rotational multiple sequence roentgenography of intracranial aneurysms. Acta radiol 1972; 13: 74–6.
- Tu RK, Cohen WA, Maravilla KR et al. Digital subtraction rotational angiography for aneurysms of the intracranial anterior circulation: injection method and optimization. Am J Neurorad 1996; 17: 1127–36.
- Gattoni F, Sacrini A, Tonolini M et al. Digital rotational angiography in the study of vascular diseases: technical note and initial clinical applications. Radiol Med (Torino) 1998; 96 (Suppl. 6): 570–3.
- Климов В.П. Возможности ротационной цифровой субтракционной ангиографии при исследовании аутовенозных аортокоронарных шунтов и коронарных артерий у больных ишемической болезнью сердца. Автореф. дисс. ... канд. мед. наук. М., 2004; с. 102. / Klimov V.P. Vozmozhnosti rotatsionnoi digital'noi subtraksionnoi angiografii pri issledovanii avtovenoznykh aortokoronarnykh shuntov i koronarnykh arterii u bol'nykh ishemicheskoi bolezniu serdtsa. Avtoref. diss. ... kand. med. nauk. M., 2004; s. 102. [in Russian]
- Bosanac Z, Miller RJ, Jain M. Rotational digital subtraction carotid angiography: technique and comparison with static digital subtraction angiography. Coin Radiol 1998; 53 (Suppl. 9): 682–7.
- Ashina K. Clinical evaluation of biplane rotational DSA for intracranial diseases. Nippon Igaku Hoshasen Gakkai Zasshi 1994; 54 (Suppl. 13): 1225–36.
- Bullitt E, Soltys M, Chen J et al. Three-dimensional reconstruction of intracranial vessels from biplan projection views. J Neurosci Methods 1996; 66 (Suppl. 1): 13–22.
- Carsin M, Chabert E, Croci S et al. The role of 3-dimensional reconstructions angiographic evaluation of cerebral vascular malformations: 3D morphometry. J Neuroradiol 1997; 24 (Suppl. 2): 137–40.
- Ernemann U, Skalej M, Barth K, Voigt K. 3D-reconstructions of intracranial vessels based on rotational angiography. Neuroradiology 1998; 40 (Suppl. 1): 47.
- Bullitt E, Liu A, Aylward SR et al. Registration of 3D cerebral vessels with 2D digital angiograms: clinical evaluation. Acad Radiol 1999; 6 (Suppl. 9): 539–46.
- Hoff DJ, Wallace MC, terBrugge KG, Gentili F. Rotational angiography assessment of cerebral aneurysms. Am J Neuroradiol 1994; 15 (Suppl. 10): 1945–1948.
- Tanoue S, Kiyosue H, Kenai H et al. Three-dimensional reconstructed images after rotational angiography in the evaluation of intracranial aneurysms: surgical correlation. Neurosurgery 2000; 47 (Suppl. 4): 866–71.
- Shimizu T, Kodama Y, Endo H et al. The usefulness of three-dimensional reconstructed image by rotational DSA for transcatheter arterial embolization. Cardiovasc Intervent Radiol 2001; 24 (Suppl. 1): S169.
- Tajima H, Kumazaki T, Gemma K et al. Rotational digital angiography of ulcer-like projection of pelvis. Radiat Med 1996; 14: 49–51.
- Klimov V, Ardashev A. Rotational DSA of coronary artery as a movable object – if it is possible? Eur Radiol 2004; 14: R31.
- Blendea D et al. Usefulness of high-speed rotational coronary venous angiography during cardiac resynchronization therapy. Am J Cardiol 2007; 100 (10): 1561–5.
- Fagih AA et al. An initiative to minimize amount of contrast media utilizing a novel rotational coronary sinus occlusive venography technique with ordinary cath-lab X-ray machine during CRT implantation. J Invasive Cardiol 2010; 22 (9): 428–31.
- Klimov V, Ardashev A. Rotational DSA of coronary artery bypass graft patency. Eur Radiol 2003; 13 (10): H26.

38. Asato T, Tajima H. Clinical assessment of rotational digital angiography for the diagnosis of hepatocellular carcinoma. *Nippon Ika Daigaku Zasshi* 1997; 64 (Suppl. 5): 401–10.
39. Kumazaki T. Development of a new digital angiography system – improvement of rotational angiography and three dimensional image display. *Nippon Igaku Hoshasen Gakkai Zasshi* 1991; 51(Suppl. 9): 1068–77.
40. Schueler BA, Sen A, Hsiung HH, Latchaw RE, Hu X. Three-dimensional vascular reconstruction with a clinical x-ray angiography system. *Acad Radiol* 1997; 4 (Suppl. 10): 693–699.
41. Bidaut LM, Laurent C, Piotin M et al. Second-generation three-dimensional reconstruction for rotational three-dimensional angiography. *Acad Radiol* 1998; 5 (12): 836–49.
42. Fahrig R, Nikolov H, Fox AJ, Holdsworth DW. A three-dimensional cerebrovascular flow phantom. *Med Phys* 1999; 26 (Suppl. 8): 1589–99.
43. Talukdar AS, Wilson DL. Modeling and optimization of rotational C-arm stereoscopic X-ray angiography. *IEEE Trans. Med Imaging* 1999; 18 (Suppl. 7): 604–16.
44. Fahrig R, Fox A, Lownie S, Holdsworth D. Use of a C-arm system to generate true three-dimensional computed rotational angiograms: preliminary in vitro and in vivo results. *AJNR* 1997; 18: 1507–14.
45. Unger B, Link J, Trenkler J, Bohm-Jurkovic H. Digital rotational angiography for the preoperative and preinterventional clarification of cerebral arterial aneurysms. *Rofu Fortschr Geb Rontgenstr Neuen Bildgeb Verfahr* 1999; 170 (Suppl. 5): 482–91.
46. Missler Y, Hundt C, Wiesmann M et al. Three-dimensional reconstructed rotational digital subtraction angiography in planning treatment of intracranial aneurysms. *Eur Radiol* 2000; 10 (Suppl. 4): 564–8.
47. Endo H, Shimizu T, Kodama Y et al. Usefulness of three-dimensional (3D) reconstructed images of renal arteries. *Cardiovasc Intervent Radiol* 2001; 24 (Suppl. 1): S196.
48. Kofune M et al. Three-dimensional reconstruction of the coronary sinus with rotational angiography. *Circulation J* 2008; 72 (6): 1020–21.
49. Gutleben KJ et al. Three-dimensional coronary sinus reconstruction-guided left ventricular lead implantation based on intraprocedural rotational angiography: a novel imaging modality in cardiac resynchronization device implantation. *Europace* 2011; 13 (5): 675–82.

---

#### СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

**Климов Виталий Пантелеймонович** – канд. мед. наук, доц. каф. рентгеноваскулярных и мининвазивных методов диагностики и лечения ФГБОУ ДПО ИГК; врач-специалист рентгеноваскулярных методов диагностики и лечения ГБУЗ «ГКБ им. В.В.Вересаева».  
E-mail: vp\_klimov@mail.ru

**Азаров Алексей Викторович** – канд. мед. наук, доц. каф. рентгеноваскулярных и мининвазивных методов диагностики и лечения ФГБОУ ДПО ИГК; зам. глав. врача, рук. Регионального сосудистого центра ГБУЗ МО МГКБ. E-mail: azarov\_al@mail.ru

**Семитко Сергей Петрович** – д-р мед. наук, проф., зав. каф. рентгеноваскулярных и мининвазивных методов диагностики и лечения ФГБОУ ДПО ИГК; зав. отд. рентгеноваскулярных методов диагностики и лечения ГБУЗ «ГКБ им. В.В.Вересаева».  
E-mail: semitko@mail.ru

**Верткина Наталья Викторовна** – д-р мед. наук, глав. врач ГБУЗ «ГКБ им. В.В.Вересаева»