

От приглашенного редактора | From section editor

ISSN 1607-0763 (Print); ISSN 2408-9516 (Online)

<https://doi.org/10.24835/1607-0763-1084>

## Роль КТ-ангиографии в оценке лечения аневризм интракраниальных артерий

© Зяблова Е.И.<sup>1, 2\*</sup>, Порханов В.А.<sup>1, 2</sup>, Филатова Д.А.<sup>3</sup>

<sup>1</sup> ГБУЗ “Научно-исследовательский институт – Краевая клиническая больница №1 имени проф. С.В. Очаповского” Минздрава Краснодарского края; 350086 Краснодар, ул. 1 Мая, д. 167, Российская Федерация

<sup>2</sup> ФГБОУ ВО “Кубанский государственный медицинский университет” Минздрава России; 350063 Краснодар, ул. имени М. Седина, д. 4, Российская Федерация

<sup>3</sup> Медицинский научно-образовательный центр ФГБОУ ВО “Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова”; 119192 Москва, Ломоносовский проспект, 27, к. 10, Российская Федерация

В обзоре представлена информация о возможностях и значимости применения компьютерной томографической ангиографии (КТА) как метода послеоперационного контроля церебральных аневризм после хирургического клипирования или эндоваскулярной эмболизации. Показано сравнение диагностической ценности КТА и церебральной ангиографии в отношении рутинного послеоперационного контроля. Описаны возможности усовершенствования методик сканирования и постобработки в рамках КТА для более качественной визуализации полноты выключения аневризм, а также минимизации артефактов от хирургических клипс и катушек.

**Ключевые слова:** компьютерная томография, КТ-ангиография, магнитно-резонансная томография, МР-ангиография, церебральная ангиография, аневризма, головной мозг, субарахноидальное кровоизлияние

**Авторы подтверждают отсутствие конфликтов интересов.**

**Для цитирования:** Зяблова Е.И., Порханов В.А., Филатова Д.А. Роль КТ-ангиографии в оценке лечения аневризм интракраниальных артерий. *Медицинская визуализация*. 2022; 26 (1): 15–20.

<https://doi.org/10.24835/1607-0763-1084>

**Поступила в редакцию:** 05.10.2021. **Принята к печати:** 20.12.2021. **Опубликована online:** 01.02.2022.

## The role of CT-angiography in assessment results of surgical treatment of intracranial aneurysms

© Elena I. Zyablova<sup>1, 2\*</sup>, Vladimir A. Porkhanov<sup>1, 2</sup>, Darya A. Filatova<sup>3</sup>

<sup>1</sup> The First Regional Clinical Hospital named after S.V. Ochapovsky; 167, 1 Maya str., 350086, Krasnodar, Russian Federation

<sup>2</sup> Kuban State Medical University; 4, M. Sedina str., 350063, Krasnodar, Russian Federation

<sup>3</sup> Medical Research and Education Center of Lomonosov Moscow State University, 27-10, Lomonosovsky prospekt, 119192, Moscow, Russian Federation

The review provides information on the possibilities and significance of computed tomography (CT) angiography as a method of postoperative control of cerebral aneurysms after treatment (surgical clipping or endovascular embolization). The comparison of the diagnostic value of CT and cerebral angiography as a routine method of postoperative control is shown. The possibilities of improving the methods of scanning and post-processing in the framework of CT angiography are described for better visualization of the completeness of aneurysm shutdown, as well as minimizing artifacts from surgical clips and coils.

**Keywords:** computed tomography, CT cerebral angiography, magnetic resonance imaging, MR-angiography, cerebral angiography, aneurysm, brain, subarachnoid hemorrhage

**Conflict of interest.** The authors declare no conflict of interest. The study had no sponsorship.

**For citation:** Zyablova E.I., Porkhanov V.A., Filatova D.A. The role of CT-angiography in assessment results of surgical treatment of intracranial aneurysms. *Medical Visualization*. 2022; 26 (1): 15–20.

<https://doi.org/10.24835/1607-0763-1084>

**Received:** 05.10.2021.

**Accepted for publication:** 20.12.2021.

**Published online:** 01.02.2022.



Церебральная аневризма (ЦА) – это расширение стенки артерии головного мозга. Наиболее часто встречаются мешотчатые ЦА, которые обычно возникают в типичных местах виллизиева круга. По размерам аневризмы делятся на малые (<15 мм), крупные (15–25 мм), гигантские (25–50 мм) и сверхгигантские (>50 мм). Тем не менее на практике большинство ЦА относится к первой категории, таким образом, подразделяя их на две подкатегории: малые (<5 мм) и обычных размеров (5–15 мм) [1].

Лечение ЦА в первую очередь направлено на предотвращение разрыва (для неразорвавшейся аневризмы) или повторного кровотечения (для разорвавшейся). Существует два основных метода лечения ЦА: хирургическое клипирование и эндоваскулярная эмболизация.

В раннем послеоперационном периоде визуализация интракраниальных сосудов крайне важна для оценки остаточной аневризмы и нарушения целостности материнского сосуда. Основная цель повторной визуализации через различные промежутки времени после лечения – определить степень облитерации леченой аневризмы и оценить изменения количества и размера нелеченых аневризм [1].

Необходимо также помнить про такое тяжелое осложнение, как повторный разрыв ЦА, который может возникнуть как после эмболизации спиралями, так и после хирургического клипирования. Отсроченный разрыв ЦА после оказания медицинской помощи встречается довольно редко, однако повторный разрыв в ранние сроки после лечения происходит достаточно часто и имеет серьезные последствия. В исследовании CARAT отмечается, что риск повторного разрыва ЦА в первый год после лечения составляет 1,8%. Общий риск повторного разрыва выше после спиральной эмболизации по сравнению с хирургическим клипированием ЦА (3,4% против 1,3%) [2].

В настоящее время не существует никаких рекомендаций, определяющих, когда и как долго следует наблюдать пациентов после лечения ЦА. Различные лечебные учреждения в разных странах используют свои схемы ведения больных, основанные на характеристиках ЦА, ожидаемой продолжительности жизни пациента, видах лечения аневризм и изучении психологии пациента. Оптимальное наблюдение позволит сбалансировать предотвращение кровотечения с минимизацией ненужных расходов и снизить тревожность пациента [3].

Несмотря на то что визуализация после хирургического лечения ЦА традиционно проводится методом церебральной ангиографии (ЦАГ), во многих случаях компьютерная томографическая

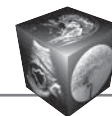
ангиография (КТА) становится все более приемлемой альтернативой, в особенности при долгосрочном послеоперационном наблюдении. Однако данной теме посвящено относительно небольшое количество исследований как в отечественной, так и в зарубежной литературе.

В 1996 г. P.T. Vieco и соавт. описали использование КТА при послеоперационной оценке внутречерепных клипс у 3 пациентов после клипирования аневризм. Был представлен метод постобработки с использованием алгоритмов Single Shot Detector (SSD) и Mixed Integer Programming (MIP), при котором модель MIP накладывалась в электронном виде на модель SSD. КТ-ангиограммы в данном исследовании показали остаточное заполнение ЦА, прилегающее к зажиму, проходимость сосуда, предположительно нарушенную в результате недавней установки зажима, а также его неправильное положение, которое потребовало повторной операции [4].

Позднее J.J. van Loon и соавт. описали возможности КТА для послеоперационного контроля ЦА после клипирования титановыми зажимами. 11 из 13 пациентов, подвергшихся клипированию, было проведено проспективное исследование с помощью субтракционной ангиографии, КТА и магнитно-резонансной ангиографии (МРА). Авторы отмечают, что несмотря на наличие артефактов от зажимов, использование КТ возможно для оценки таких параметров, как остаточное заполнение аневризмы и проходимость материнских сосудов (тогда как МРА не позволяла оценить купол и шейку аневризмы в результате артефактов от титановых зажимов) [5].

J.H. Lee и соавт. в своем исследовании оценили пользу КТА как неинвазивного диагностического метода для обнаружения остаточной аневризмы после клипирования. В исследование было включено 38 пациентов после клипирования ЦА, которым для сравнения выполнялись КТА и ЦАГ. Общая диагностическая точность КТА составила 88,1%, что свидетельствует о том, что КТА может являться ценным неинвазивным диагностическим методом оценки остаточной аневризмы у пациентов после клипирования [6].

В работе I.C. van der Schaaf и соавт. описано скрининговое исследование пациентов после клипирования аневризм кобальтовыми зажимами. Скрининг проводился с использованием КТА у 415 пациентов. Пациентам, у которых по результатам КТА было заподозрено наличие ЦА, была проведена ЦАГ. Исследование показало, что КТА имеет хорошую выполнимость, однако малые аневризмы могут быть пропущены, и кобальтовые зажимы по сравнению с титановыми дают больше арте-



фактов и значительно затрудняют качественную визуализацию прилежащих тканей [7].

R.C. Wallace и соавт. описали важность регулярного периодического визуального наблюдения, в частности применения КТА после успешного хирургического клипирования ЦА. Однако есть определенные недостатки выполнения КТ после клипирования, такие как появление артефактов от металлических зажимов, значимо ухудшающих качество визуализации прилегающей паренхимы головного мозга. Тем не менее в настоящее время благодаря использованию сканеров новейшего поколения и введению современных методик КТА становится рутинным методом неинвазивной оценки сосудистой сети головного мозга в послеоперационном периоде.

Для минимизации артефактов существуют методы изменения тока и напряжения на трубке, а также применения узкой коллимации. Некоторые авторы указывают на возможность применения тонкосрезовой КТ с оптимальным шагом сканирования 0,6 мм. Кроме того, расположение зажимов перпендикулярно плоскости сканирования также снижает количество артефактов. Для полной и качественной визуализации все исследования должны быть проанализированы с учетом исходных аксиальных изображений, сагиттальных и коронарных реконструкций, а также интерактивного трехмерного объемного рендеринга, что в некоторых случаях предоставляет наиболее полезную информацию [8].

Пользу от применения техники объемного рендеринга при КТА также описали I. Sakuma и соавт. Было обследовано 59 пациентов (77 аневризм) после клипирования титановыми зажимами на предмет наличия остаточной шейки аневризмы. Диагностика проводилась методами КТА с использованием объемных реконструкций и цифровой субтракционной ангиографии. Анализ данных показал достаточно высокие диагностические характеристики при применении 3D-КТА [9].

Для минимизации артефактов и оптимизации протокола КТА от зажимов I.C. van der Schaaf и соавт. провели исследование на фантоме. Авторы определяли влияние шага сканирования, пикового напряжения (kVp), алгоритма реконструкции, типа и положения зажима на возникновение артефактов. Артефакты были количественно оценены с помощью 3D-волюметрии. Анализ данных показал, что при шаге сканирования 0,6 артефактов практически не было. Увеличение kVp также приводит к уменьшению артефактов. Материал, из которого сделан зажим, также влияет на наличие артефактов (например, зажимы из сплава, содержащего кобальт, производят больше артефактов,

чем зажимы из титана). Зажимы, расположенные перпендикулярно плоскости сканирования, также приводили к значительно меньшему количеству артефактов [10].

В исследовании A.R. Dehdashti и соавт. точность метода КТА в послеоперационном периоде клипированных аневризм сравнивалась с ЦАГ. Было обследовано 49 пациентов (60 клипированных аневризм); оба типа визуализации были независимо рассмотрены двумя нейрорадиологами для оценки качества изображений, наличия артефактов, полноты выключения ЦА и проходимости материнского сосуда. Выключение ЦА на КТ-ангиограмме было подтверждено у всех обследуемых пациентов, кроме двух, у которых остаточная аневризма размером 2 мм подтвердилась методом ЦАГ. У одного пациента выключение ЦА определялось на цифровых ангиограммах, но было пропущено при КТА. Чувствительность и специфичность для обнаружения остаточной шейки ЦА при КТА составляли 100%, а чувствительность и специфичность для оценки проходимости сосудов – 80 и 100% соответственно [11]. Данное исследование показывает, что КТА становится все более эффективным неинвазивным методом оценки состояния клипированных ЦА, обладает высокой чувствительностью и низкой стоимостью, что оправдывает использование ее в качестве рутинного метода послеоперационного контроля леченых аневризм.

В исследовании A. Bharatha и соавт. также было проведено сравнение использования методов КТА и ЦАГ в послеоперационном периоде у пациентов после клипирования аневризм. Обследовали 48 из 53 пациентов с клипированными аневризмами. КТА показала высокую чувствительность и специфичность в обнаружении остаточной аневризмы и окклюзии материнского сосуда, однако этот метод недостаточно точен для обнаружения остатков шейки. Таким образом, КТА является полезным методом для наблюдения за пациентами с клипированными аневризмами, однако, учитывая вероятность пропуска остаточной шейки и аневризмы малых размеров, в спорных случаях рекомендовано выполнение ЦАГ [12].

В 2010 г. E. Geradin и соавт. также продемонстрировали диагностическую эффективность КТА в отношении качества выключения клипированной ЦА. 60 пациентам (74 аневризмы) после клипирования титановыми зажимами были проведены ЦАГ и КТА. В результате анализа с помощью ЦАГ были диагностированы 6 (8%) остаточных аневризм, и только 5 (7%) из них было обнаружены при КТА. Специфичность и чувствительность метода КТА составили 98,5 и 83% соответственно [13].



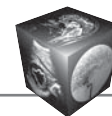
Что касается возможностей КТА для визуализации ЦА после лечения путем эндоваскулярной эмболизации, то они ограничиваются наличием артефактов из-за платиновой катушки. Долгое время считалось, что единственной возможностью визуализации таких ЦА является МРА или ЦАГ. Действительно, имеются лишь ограниченные данные о возможностях применения КТА на плоскостной панели детектора с введением контрастного препарата для визуализации ЦА, пролеченных путем стентирования и имплантации приборов для изменения направления кровотока (главные цели – визуализация внутрисосудистого потока, исключение окклюзии ЦА и оценка положения имплантированного устройства) [3]; эти данные нуждаются в дальнейшей проверке и уточнении.

Диагностическую значимость КТА повысили метод двухэнергетической КТА (ДЭКТА), а также разработка новых алгоритмов постпроцессинговой обработки для уменьшения количества артефактов. Особенностью ДЭКТА является возможность получения дополнительной информации о дифференцировке тканей на основе специфического поглощения йода на высоко- и низкоэнергетических уровнях с построением карт распределения йода. Для выполнения исследования используются одно- или двухтрубчатые томографы с разными источниками излучения либо двухслойные детекторы. Таким образом, можно осуществлять подбор наилучших значений энергии для визуализации остаточных аневризм и проходимости материнских артерий. Преимущества ДЭКТА описаны в работе P. Dolati и соавт. [14]. Проспективно были обследованы 14 пациентов с 15 клипированными ЦА. Всем больным для сравнения были выполнены ЦАГ и ДЭКТА с помощью методики быстрого переключения киловольт (Gemstone Spectral Imaging (GSI)). При ЦАГ в 8 из 15 клипированных ЦА были обнаружены остаточные аневризмы размером  $< 2$  мм, за исключением одной. Из 8 подтвержденных при ЦАГ остаточных аневризм только 3 были обнаружены с помощью КТА, таким образом, для обнаружения остаточной аневризмы методом КТА чувствительность и специфичность теста составили 37,5 и 100% соответственно. Тем не менее КТА имела 100% чувствительность и 77% специфичность для выявления проходимости материнского сосуда с соответствующими положительными и отрицательными прогностическими значениями – 60 и 100% соответственно.

Важный вклад в доказательство важной роли ДЭКТА в диагностике постоперационных аневризм внесло исследование I. Mosanu и соавт., в которое было включено 35 пациентов (40 ЦА), 17 из которых лечили методом клипирования, осталь-

ных – эндоваскулярно. Анализ показал, что ДЭКТА значительно улучшает качество и информативность изображений только в случае ЦА, леченных хирургически; в случае эндоваскулярного лечения данный метод не продемонстрировал преимуществ [15]. Похожие результаты получили S. Winklhofer и соавт., включив в свое исследование 14 клипированных и 6 эмболизированных ЦА: использование ДЭКТА уменьшало артефакты от клипс или маленьких неплотных катушек; количество артефактов от более крупных и плотных катушек оставалось прежним [16].

Тем не менее в последнее время появляются методы, совершенствующие качество визуализации ЦА после любого метода лечения. В настоящее время доступны алгоритмы итеративного уменьшения выраженности артефактов от металла после обработки (metal artifact reduction, MAR); одним из существенных достоинств этого метода является отсутствие влияния на общую лучевую нагрузку, которой подвергается пациент [17]. Данная модель продемонстрировала уменьшение артефактов у пациентов с ортопедическими и стоматологическими имплантатами, а также на фантомах с клипсами и спиральями [18–20]. Есть сведения о том, что комбинация этого метода с созданием виртуальных моноэнергетических изображений (VMI) с помощью КТ со спектральным детектором может увеличить эффективность MAR. В исследовании D. Zopf и соавт. было показано, что при этом наблюдается меньше артефактов и улучшается визуализация как самой пролеченной ЦА, так и окружающей мозговой ткани [21]. Важно, что данная методика работает как после клипирования, так и после эмболизации ЦА. Ценность методики итеративной реконструкции для снижения выраженности артефактов от металла была показана в исследовании A. Fisiore и соавт. [22]; ценность его состоит в том, что эффективность методики была показана как субъективным, так и объективным способом, для самого исследования не требовалось введение контрастного препарата. Несмотря на уменьшение артефактов от металла, авторами было отмечено появление новых, уже менее выраженных артефактов в виде тонкого ореола потери выраженности сигнала вокруг клипсы или катушки; данные артефакты не снижали качество визуализации в той степени, как это наблюдалось до реконструкции. Существует вариант алгоритма снижения артефактов от металла, предусматривающий внутривенное введение контрастного препарата; данный метод показал эффективность как после клипирования, так и после эмболизации ЦА [23]. Также в литературе описано несколько других разновидностей реконструкций



[24–26], в том числе уменьшение артефактов от металла с использованием одноэнергетического алгоритма [27]; исследования в данном направлении активно продолжаются, чему способствует постоянное совершенствование медицинской техники.

В заключение можно отметить, что методика ЦАГ не теряет своей актуальности и остается стандартом визуализации леченых аневризм, однако во многих случаях ее проведение является нецелесообразным ввиду инвазивности, высокой стоимости, а главное – наличия возможности заменить ее на КТА без потери диагностической точности. На современном этапе развития лучевой диагностики КТА является адекватной заменой ЦАГ и показывает себя как эффективный метод визуализации небольших остаточных аневризм, проходимости, стеноза или вазоспазма в соседних материнских сосудах, а также обеспечивает визуализацию всей сосудистой системы головного мозга на предмет новых аневризм после хирургического лечения. В последнее время появляется все больше методик постпроцессинговой обработки, которые позволяют повысить диагностическую ценность КТА в визуализации ЦА как после хирургического клипирования, так и после эндоваскулярной эмболизации, что раньше представляло сложность из-за неизбежного возникновения артефактов от металла.

#### Участие авторов

Зяблова Е.И. – проведение исследования, сбор и обработка данных, статистическая обработка данных, анализ и интерпретация полученных данных, написание текста.

Порханов В.А. – концепция и дизайн исследования, участие в научном дизайне, утверждение окончательного варианта статьи.

Филатова Д.А. – сбор и обработка данных, статистическая обработка данных, подготовка, создание опубликованной работы, ответственность за целостность всех частей статьи.

#### Authors' participation

Zyablova E.I. – conducting research, collection and analysis of data, statistical analysis, analysis and interpretation of the obtained data, writing text.

Porkhanov V.A. – concept and design of the study, participation in scientific design, approval of the final version of the article.

Filatova D.A. – collection and analysis of data, statistical analysis, preparation and creation of the published work, responsibility for the integrity of all parts of the article.

## Список литературы [References]

- Hacein-Bey L., Provenzale J.M. Current imaging assessment and treatment of intracranial aneurysms. *Am. J. Roentgenol.* 2011; 196 (1): 32–44. <https://doi.org/10.2214/ajr.10.5329>
- Johnston S.C., Dowd C.F., Higashida R.T. et al. Predictors of Rehemorrhage After Treatment of Ruptured Intracranial Aneurysms. *Stroke.* 2008; 39 (1): 120–125. <https://doi.org/10.1161/strokeaha.107.495747>
- Soize S., Gawlitza M., Raoult H., Pierot L. Imaging Follow-Up of Intracranial Aneurysms Treated by Endovascular Means: Why, When, and How? *Stroke.* 2016; 47 (5): 1407–1412. <https://doi.org/10.1161/strokeaha.115.011414>
- Vieco P.T., Morin 3rd E.E., Gross C.E. CT angiography in the examination of patients with aneurysm clips. *Am. J. Neuroradiol.* 1996; 17 (3): 455–457. <https://doi.org/10.3174/ajnr.a1523>
- van Loon J.J., Yousry T.A., Fink U. et al. Postoperative spiral computed tomography and magnetic resonance angiography after aneurysm clipping with titanium clips. *Neurosurgery.* 1997; 41: 851–856. <https://doi.org/10.1097/00006123-199710000-00016>
- Lee J.H., Kim S.J., Cha J. et al. Postoperative multidetector computed tomography angiography after aneurysm clipping: comparison with digital subtraction angiography. *J. Comput. Assist. Tomogr.* 2005; 29 (1): 20–25. <https://doi.org/10.1097/01.rct.0000147980.83333.d1>
- van der Schaaf I.C., Velthuis B.K., Wermer M.J. et al.; ASTRA Study Group. Multislice computed tomography angiography screening for new aneurysms in patients with previously clip-treated intracranial aneurysms: feasibility, positive predictive value, and interobserver agreement. *J. Neurosurg.* 2006; 105 (5): 682–688. <https://doi.org/10.3171/jns.2006.105.5.682>
- Wallace R.C., Karis J.P., Partovi S., Fiorella D. Noninvasive Imaging of Treated Cerebral Aneurysms, Part II: CT Angiographic Follow-Up of Surgically Clipped Aneurysms. *Am. J. Neuroradiol.* 2007; 28 (7): 1207–1212. <https://doi.org/10.3174/ajnr.a0664>
- Sakuma I., Tomura N., Kinouchi H. et al. Postoperative three-dimensional CT angiography after cerebral aneurysm clipping with titanium clips: detection with single detector CT. Comparison with intra-arterial digital subtraction angiography. *Clin. Radiol.* 2006; 61 (6): 505–512. <https://doi.org/10.1016/j.crad.2006.01.011>
- van der Schaaf I., van Leeuwen M., Vlassenbroek A., Velthuis B. Minimizing clip artifacts in multi CT angiography of clipped patients. *Am. J. Neuroradiol.* 2006; 27: 60–66.
- Dehdashti A.R., Binaghi S., Uske A., Regli L. Comparison of multislice computerized tomography angiography and digital subtraction angiography in the postoperative evaluation of patients with clipped aneurysms. *J. Neurosurg.* 2006; 104 (3): 395–403. <https://doi.org/10.3171/jns.2006.104.3.395>
- Bharatha A., Yeung R., Durant D. et al. Comparison of computed tomography angiography with digital subtraction angiography in the assessment of clipped intracranial aneurysms. *J. Comput. Assist. Tomogr.* 2010; 34 (3): 440–445. <https://doi.org/10.1097/rct.0b013e3181d27393>
- Gerardin E., Tollard E., Derrey S. et al. Usefulness of multislice computerized tomographic angiography in the postoperative evaluation of patients with clipped



- aneurysms. *Acta Neurochirurgica*. 2010; 152 (5): 793–802. <https://doi.org/10.1007/s00701-009-0465-4>
14. Dolati P., Eichberg D., Wong J.H., Goyal M. The Utility of Dual-Energy Computed Tomographic Angiography for the Evaluation of Brain Aneurysms after surgical clipping: a prospective study. *Wild Neurosurg*. 2015; 84 (5): 1362–1371. <https://doi.org/10.1016/j.wneu.2015.06.027>
  15. Mocanu I., Van Wettene M., Absil J. et al. Value of dual-energy CT angiography in patients with treated intracranial aneurysms. *Neuroradiology*. 2018; 60 (12): 1287–1295. <https://doi.org/10.1007/s00234-018-2090-5>
  16. Winklhofer S., Hinzpeter R., Stocker D. et al. Combining monoenergetic extrapolations from dual-energy CT with iterative reconstructions: reduction of coil and clip artifacts from intracranial aneurysm therapy. *Neuroradiology*. 2018; 60 (3): 281–291. <https://doi.org/10.1007/s00234-018-1981-9>
  17. Wellenberg R.H.H., Hakvoort E.T., Slump C.H. et al. Metal artifact reduction techniques in musculoskeletal CT-imaging. *Eur. J Radiol*. 2018; 107: 60–69. <https://doi.org/10.1016/j.ejrad.2018.08.010>
  18. Wellenberg R.H., Boomsma M.F., van Osch J.A. et al. Quantifying metal artefact reduction using virtual monochromatic dual-layer detector spectral CT imaging in unilateral and bilateral total hip prostheses. *Eur. J. Radiol*. 2017; 88: 61–70. <https://doi.org/10.1016/j.ejrad.2017.01.002>
  19. Laukamp K.R., Zopfs D., Lennartz S. et al. Metal artifacts in patients with large dental implants and bridges: combination of metal artifact reduction algorithms and virtual monoenergetic images provides an approach to handle even strongest artifacts. *Eur. Radiol*. 2019; 29 (8): 4228–4238. <https://doi.org/10.1007/s00330-018-5928-7>
  20. Große Hokamp N., Laukamp K.R., Lennartz S. et al. Artifact reduction from dental implants using virtual monoenergetic reconstructions from novel spectral detector CT. *Eur. J. Radiol*. 2018; 104: 136–142. <https://doi.org/10.1016/j.ejrad.2018.04.018>
  21. Zopfs D., Lennartz S., Pennig L. et al. Virtual monoenergetic images and post-processing algorithms effectively reduce CT artifacts from intracranial aneurysm treatment. *Sci. Rep*. 2020; 10: 6629. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-63574-8>
  22. Fitsiori A., Martin S.P., Juillet De Saint Lager A. et al. Iterative Algorithms Applied to Treated Intracranial Aneurysms. *Clin. Neuroradiol*. 2019; 29 (4): 741–749. <https://doi.org/10.1007/s00062-018-0701-5>
  23. Pjontek R., Önenköprülü B., Scholz B. et al. Metal artifact reduction for flat panel detector intravenous CT angiography in patients with intracranial metallic implants after endovascular and surgical treatment. *J. Neurointerv. Surg*. 2016; 8 (8): 824–829. <https://doi.org/10.1136/neurintsurg-2015-011787>
  24. Prell D., Kyriakou Y., Struffert T. et al. Metal artifact reduction for clipping and coiling in interventional C-arm CT. *Am. J. Neuroradiol*. 2010; 31 (4): 634–639. <https://doi.org/10.3174/ajnr.A1883>
  25. Psychogios M.N., Scholz B., Rohkohl C. et al. Impact of a new metal artefact reduction algorithm in the noninvasive follow-up of intracranial clips, coils, and stents with flat-panel angiographic CTA: initial results. *Neuroradiology*. 2013; 55 (7): 813–818. <https://doi.org/10.1007/s00234-013-1165-6>
  26. Chintalapani G., Chinnadurai P., Srinivasan V. et al. Evaluation of C-arm CT metal artifact reduction algorithm during intra-aneurysmal coil embolization: assessment of brain parenchyma, stents and flow-diverters. *Eur. J. Radiol*. 2016; 85 (7): 1312–1321. <https://doi.org/10.1016/j.ejrad.2016.04.013>
  27. Pan Y.N., Chen G., Li A.J. et al. Reduction of metallic artifacts of the post-treatment intracranial aneurysms: effects of single energy metal artifact reduction algorithm. *Clin. Neuroradiol*. 2019; 29 (2): 277–284. <https://doi.org/10.1007/s00062-017-0644-2>

**Для корреспонденции\***: Зяблова Елена Игоревна – 350086, Россия, Краснодар, ул. Российская, 140. НИИ – ККБ №1 имени проф. С.В. Очаповского. E-mail [elenazyablova@inbox.ru](mailto:elenazyablova@inbox.ru)

**Зяблова Елена Игоревна** – канд. мед. наук, доцент кафедры лучевой диагностики ФГБОУ ВО “Кубанский государственный медицинский университет”, заведующая рентгеновским отделением ГБУЗ “Научно-исследовательский институт – Краевая клиническая больница №1 имени проф. С.В. Очаповского” Минздрава Краснодарского края, Краснодар. <https://orcid.org/0000-0002-6845-5613>.

**Порханов Владимир Алексеевич** – академик РАН, доктор мед. наук, профессор, главный врач ГБУЗ “Научно-исследовательский институт – Краевая клиническая больница №1 имени проф. С.В. Очаповского” Минздрава Краснодарского края; заведующий кафедрой онкологии с курсом торакальной хирургии ФГБОУ ВО “Кубанский государственный медицинский университет”, Краснодар. <https://orcid.org/0000-0003-0572-1395>

**Филатова Дарья Андреевна** – клинический ординатор кафедры лучевой диагностики и лучевой терапии МГУ имени М.В. Ломоносова, Москва. <https://orcid.org/ID 0000-0002-0894-1994>

**Contact\***: Elena I. Zyablova – 350086, Russia, Krasnodar, Rossiiskaya str. 140. The First Regional Clinical Hospital named after S.V. Ochapovsky. E-mail: [elenazyablova@inbox.ru](mailto:elenazyablova@inbox.ru)

**Elena I. Zyablova** – Cand. of Sci. (Med.), Senior Lecturer of Radiology Department, Kuban State Medical University of Kuban State Medical University; Head of Radiology Department of the First Regional Clinical Hospital named after S.V. Ochapovsky, Krasnodar. <https://orcid.org/0000-0002-6845-5613>.

**Vladimir A. Porkhanov** – Academician of the Russian Academy of Sciences, Doct. of Sci. (Med.), Professor, Chief Doctor of The First Regional Clinical Hospital named after S.V. Ochapovsky; Head of the Department of Oncology with the Course of Thoracic Surgery of Kuban State Medical University, Krasnodar. <https://orcid.org/0000-0003-0572-1395>.

**Darya A. Filatova** – Resident of Radiology and Radiotherapy Department of Lomonosov Moscow State University, Moscow. <https://orcid.org/ID 0000-0002-0894-1994>.