



Возможности динамической магнитно-резонансной ангиографии у пациентов с церебральными аневризмами в послеоперационном периоде

©Д.О. Кардаильская^{1,2*}, Е.И. Зяблова^{1,2}, Т.Н. Трофимова³, И.Н. Север²,
Д.В. Литвиненко¹, В.В. Ткачев^{1,2}, В.А. Порханов^{1,2}

¹ Научно-исследовательский институт – Краевая клиническая больница № 1 им. проф. С.В. Очаповского, Краснодар, Россия

² Кубанский государственный медицинский университет, Краснодар, Россия

³ Институт мозга человека им. Н.П. Бехтерева РАН, Санкт-Петербург, Россия

* Д.О. Кардаильская, НИИ – ККБ № 1 им. проф. С.В. Очаповского, 350086, Краснодар, ул. 1 Мая, 167, k.daria2702@gmail.com

Поступила в редакцию 14 декабря 2023 г. Исправлена 18 января 2024 г. Принята к печати 30 января 2024 г.

Резюме

Актуальность: Разрывы церебральных аневризм (ЦА) являются главной причиной геморрагических инсультов, на их долю приходится 70–85% нетравматических субарахноидальных кровоизлияний. Основными целями лечения ЦА являются предотвращение разрыва, тромбоза или симптомов масс-эффекта. Ведущими методами лечения внутричерепных аневризм являются открытое клипирование, имплантация потокотклоняющих устройств, резектирование и стентирование. За пролеченными аневризмами необходимо наблюдать, чтобы оценить устойчивость окклюзии, так как известно, что более 20% аневризм после оперативного лечения рецидивируют.

В последнее время магнитно-резонансная ангиография (МРА) становится все более привлекательной как неинвазивный метод последующего наблюдения за ЦА после оперативного лечения, поскольку не требуется госпитализации пациентов и уменьшается количество осложнений, связанных с частым использованием церебральной ангиографии (ЦАГ).

Цель исследования: Оценить возможности динамической магнитно-резонансной ангиографии при послеоперационном контроле пациентов с ЦА.

Материалы и методы: Исследование было проведено на базе ГБУЗ «Научно-исследовательского института – Краевой клинической больницы № 1 им. С.В. Очаповского» г. Краснодара. В условиях стационара было обследовано 38 пациентов с ЦА в позднем послеоперационном периоде с помощью МРТ, МРА (3D-TOF) и динамической МРА, а затем ЦАГ. Данные визуализации, полученные в результате исследований МРА, динамической МРА и ЦАГ были оценены врачами-рентгенологами, рентген-хирургами и нейрохирургами. Исследователи оценивали леченые аневризмы с точки зрения окклюзии, в соответствии с классификацией Raymond-Roy: полная окклюзия (1-я степень), резидуальная шейка (2-я степень) и резидуальная аневризма (3-я степень). Была проведена оценка состояния нелеченых аневризм у пациентов с множественными ЦА, аневризм de novo, а также поиск других сосудистых мальформаций.

Результаты: Исследование проводилось у пациентов в позднем послеоперационном периоде от 6 до 18 мес. Приняли участие 38 пациентов, из них 27 женщин (возраст от 32 до 77 лет) и 11 мужчин (возраст от 32 до 65 лет). В результате проведения динамической МРА были найдены пришеечные части у 4-х клипированных аневризм и у 2-х эмболизированных, что подтвердилось на ЦАГ. По результатам динамической МРА пришеечные части среди клипированных аневризм определялись в ПСоА (n = 2), ВСА (n = 1), ПВА (n = 1). Среди эмболизированных аневризм пришеечные части были обнаружены в ВСА (n = 1) и ОА (n = 1). По данным динамической МРА дополнительно были найдены 5 аневризм: 2 – в ВСА, по одной – в ОА, ПМА, ПСоА. Данные совпали с результатами ЦАГ.

По результатам данных нашего исследования чувствительность и специфичность метода динамической МРА в выявлении пришеечной части ЦА составила соответственно 100 и 100%, при выявлении нелеченых аневризм – 100 и 100%.

Обсуждение: Данные динамической МРА полностью согласуются с ЦАГ для определения статуса окклюзии аневризмы в послеоперационном контроле. Для оценки внутричерепных аневризм de novo динамическая МРА также превосходит бесконтрастную 3D-TOF МРА при оценке формы аневризмы, обнаружении шейки. Таким образом, динамическая МРА может четко отображать структуру сосудов головного мозга преимущественно за счет эффекта потока крови и контраста статических тканей, а принцип заключается в основном в эффекте многофазного сканирования и накопления контрастного препарата.

Заключение: Использование динамической МРА имеет ряд преимуществ перед ЦАГ, такие как неинвазивность данной процедуры, высокое разрешение изображений церебральных артерий, отсутствие лучевой нагрузки и введения йодсодержащего контрастного препарата, а также отсутствие артефактов от металлических клипс или эмболизирующего материала.

Ключевые слова: церебральные аневризмы, головной мозг, магнитно-резонансная томография, динамическая магнитно-резонансная ангиография, церебральная ангиография

Цитировать: Кардаильская Д.О., Зяблова Е.И., Трофимова Е.И. и др. Возможности динамической магнитно-резонансной ангиографии у пациентов с церебральными аневризмами в послеоперационном периоде. *Инновационная медицина Кубани*. 2024;9(1):60–68. <https://doi.org/10.35401/2541-9897-2024-9-1-60-68>



Capabilities of Dynamic Magnetic Resonance Angiography in Patients With Cerebral Aneurysms in the Postoperative Period

©Daria O. Kardailskaya^{1,2*}, Elena I. Zyablova^{1,2}, Tatyana N. Trofimova³, Irina N. Sever²,
Dmitriy V. Litvinenko¹, Vyacheslav V. Tkachev^{1,2}, Vladimir A. Porhanov^{1,2}

¹ Scientific Research Institute – Ochapovsky Regional Clinical Hospital No. 1, Krasnodar, Russian Federation

² Kuban State Medical University, Krasnodar, Russian Federation

³ Bekhtereva Institute for Human Brain of the Russian Academy of Sciences, Saint Petersburg, Russian Federation

* Daria O. Kardailskaya, Scientific Research Institute – Ochapovsky Regional Clinical Hospital No. 1, ulitsa 1 Maya 167, Krasnodar, 350086, Russian Federation, k.daria2702@gmail.com

Received: December 14, 2023. Received in revised form: January 18, 2024. Accepted: January 30, 2024.

Abstract

Introduction: The leading cause of hemorrhagic stroke is a ruptured cerebral aneurysm (CA), accounting for 70%-85% of nontraumatic subarachnoid hemorrhages. The primary goals of CA treatment are to prevent a rupture, thrombosis, or symptoms of mass effect. The main treatment options for intracranial aneurysms are open clipping, flow-diverter device implantation, resection and stenting of aneurysms. Treated aneurysms should be monitored to assess the stability of the occlusion because more than 20% of surgically treated aneurysms are known to recur.

Magnetic resonance angiography (MRA) has recently become increasingly attractive for the follow-up of surgically treated CAs because it is noninvasive, does not require hospitalization, and reduces complications associated with the frequent use of cerebral angiography.

Objective: To evaluate capabilities of dynamic MRA in postoperative monitoring of patients with CAs.

Materials and methods: The study was conducted at the premises of the Scientific Research Institute – Ochapovsky Regional Clinical Hospital No. 1 (Krasnodar, Russian Federation). In a hospital setting, 38 patients with CAs were examined in the late postoperative period. All the patients underwent magnetic resonance imaging, 3-dimensional time-of-flight (3D-TOF) MRA, and dynamic MRA followed by cerebral angiography. Imaging findings (MRA, dynamic MRA, and cerebral angiography) were evaluated by radiologists, x-ray surgeons, and neurosurgeons. They assessed treated aneurysms according to the Raymond-Roy occlusion classification: complete obliteration (class 1), residual neck (class 2), and residual aneurysm (class 3). Untreated aneurysms in patients with multiple CAs and de novo aneurysms were also assessed, and we looked for other vascular malformations.

Results: The study was conducted in the late postoperative period from 6 to 18 months. A total of 38 patients participated in the study; of them 27 were women (age, 32-77 years) and 11 were men (age, 32-65 years). Dynamic MRA detected neck remnants of 4 clipped aneurysms and 2 embolized ones, which was confirmed by cerebral angiography. According to the dynamic MRA results, in case of clipped aneurysms neck remnants were found in the anterior communicating artery (n=2), internal carotid artery (n=1), and anterior choroidal artery (n=1). In case of embolized aneurysms, neck remnants were revealed in the internal carotid artery (n=1) and basilar artery (n=1). Dynamic MRA also detected 5 additional aneurysms: 2 internal carotid artery aneurysms, 1 basilar artery aneurysm, 1 anterior cerebral artery aneurysm, and 1 anterior communicating artery aneurysm. These findings coincided with those of cerebral angiography. Based on the results of our study, the sensitivity and specificity of dynamic MRA in detecting CA neck remnants and untreated aneurysms were 100%.

Discussion: Dynamic MRA findings are fully consistent with those of cerebral angiography in terms of determining an aneurysm occlusion status during postoperative follow-up. As for evaluation of de novo intracranial aneurysms, dynamic MRA is also superior to noncontrast 3D-TOF MRA in assessment of aneurysm shape and neck detection. Therefore, dynamic MRA can clearly visualize the structure of cerebral vessels mainly due to the effect of blood flow and static tissue contrast, and the principle is mainly the effect of multiphase scanning and accumulation of contrast agent.

Conclusions: Dynamic MRA has a number of advantages over cerebral angiography, such as noninvasiveness, high-resolution images of the cerebral arteries, absence of radiation exposure, use of iodinated contrast agent, and absence of artifacts from metal clips or embolic material.

Keywords: cerebral aneurysms, brain, magnetic resonance imaging, dynamic magnetic resonance angiography, cerebral angiography

Cite this article as: Kardailskaya DO, Zyablova EI, Trofimova TN, et al. Capabilities of dynamic magnetic resonance angiography in patients with cerebral aneurysms in the postoperative period. *Innovative Medicine of Kuban*. 2024;9(1):60–68. <https://doi.org/10.35401/2541-9897-2024-9-1-60-68>

Актуальность

Церебральные аневризмы (ЦА) – это приобретенные сосудистые аномалии, возникающие в результате выпячивания артериальной стенки. Наиболее распространенная локализация интракраниальных аневризм – места разветвления артерий переднего отдела Виллизиева многоугольника [1]. В клинической практике выявление неразорвавшихся внутричерепных аневризм увеличилось благодаря рутинному использованию компьютерной томографии (КТ) и магнитно-резонансной томографии (МРТ).

Разрывы ЦА являются ведущей причиной геморрагических инсультов, на их долю приходится 70–85%

нетравматических субарахноидальных кровоизлияний (нСАК). Первоначально считалось, что ЦА встречаются у 1–2% населения, однако, по последним данным, распространенность внутричерепных аневризм может достигать от 5–8% и даже 11% [2].

Тактика лечения пациентов с разорвавшимися ЦА является «бескомпромиссной» – они подлежат тотально эрадикации. Наряду с этим оптимальное лечение неразорвавшейся внутричерепной аневризмы должно включать сравнение вероятности разрыва аневризмы без какого-либо вмешательства с риском хирургического клипирования или внутрисосудистого лечения. Факторы, которые следует учитывать:

1 – аневризматические факторы, такие как расположение, размер, морфология, наличие тромба внутри аневризмы и наличие дочернего мешка или нескольких долей; 2 – факторы пациента, такие как возраст, анамнез, история субарахноидального кровоизлияния и семейный анамнез субарахноидального кровоизлияния [3]. Лечение ЦА заключается в предотвращении разрыва, тромбоза или симптомов масс-эффекта [4]. Основные методы лечения внутричерепных аневризм: открытое клипирование, имплантация потокотклоняющих устройств, резектирование и стентирование.

За пролеченными аневризмами необходимо наблюдать, чтобы оценить устойчивость окклюзии, так как известно, что более 20% аневризм после оперативного лечения рецидивируют. Согласно данным клинических рекомендаций 2022 г., назначение визуализирующих методик после лечения необходимо проводить через 6–12 мес. [5]. Несмотря на то что церебральная ангиография (ЦАГ) остается «золотым стандартом», этот инвазивный метод визуализации сопряжен с рядом рисков: воздействие ионизирующего излучения, нефротоксичность контрастных веществ на основе йода, церебральная тромбоэмболия, а также ятрогенное повреждение артерий [6]. Поскольку эффективность лечения ЦА должна быть подтверждена с течением времени, это требует госпитализации пациентов для проведения многочисленных диагностических исследований, в результате чего риски, связанные с последующим использованием ЦАГ, усугубляются [7].

В последнее время магнитно-резонансная ангиография (МРА) становится все более привлекательна как неинвазивный метод последующего наблюдения за ЦА после оперативного лечения, поскольку не требуется госпитализация пациентов и осложнения, связанные с частым использованием ЦАГ, минимизированы [8]. Для практического применения при обследовании пациентов в послеоперационном периоде рекомендуется использовать два различных метода МРА: времяпролетную (TOF) и МРА с контрастным усилением (КУ). Отмечено, что чувствительность и специфичность контрастной МРА внутричерепных аневризм после внутрисосудистого лечения составляют 88 и 94% соответственно, в то время как в послеоперационном периоде после открытого клипирования эти данные составляют 90 и 92% соответственно [9].

Необходимо также отметить важность послеоперационного контроля в целях обнаружения аневризм *de novo*. Имеется мало информации о необходимости, частоте и эффективности плановых последующих визуализирующих исследований после лечения разорвавшихся или неразорвавшихся ЦА для исключения возможного образования аневризм *de novo*,

однако, по данным ряда авторов, частота образования аневризм *de novo* варьируется в пределах 0,23–2,2% в год [10–13].

В нашем исследовании мы проанализировали возможности использования динамической МРА у пациентов с ЦА в позднем послеоперационном контроле в сравнении с ЦАГ. Метод динамической МРА на практике используется преимущественно для более четкой визуализации сосудистых мальформаций [14, 15]. В России имеется только один опыт применения динамической МРА для оценки ЦА в послеоперационном периоде, однако в данном исследовании в группу обследуемых вошли только пациенты с клипированными ЦА [16].

Цель исследования

Оценить возможности динамической магнитно-резонансной ангиографии при послеоперационном контроле пациентов с ЦА.

Материалы и методы

Исследование проведено на базе ГБУЗ «Научно-исследовательского института – Краевая клиническая больница №1 им. С.В. Очаповского» г. Краснодара. В условиях стационара было обследовано 38 пациентов с ЦА в позднем послеоперационном периоде. Все пациенты данной группы были обследованы с помощью МРТ, МРА (3D-TOF) и динамической МРА, а затем визуализирующего исследования ЦАГ.

В протокол исследования входили нативная МРТ головного мозга, МРА и динамическая МРА с внутривенным введением гадолиний-содержащего контрастного препарата.

МРТ проводили на аппаратах MR Optima MR450w 1,5T General Electric с использованием 24-канальной головной катушки и Ingenia 3T Philips с применением 32-канальной катушки. В протокол сканирования входили следующие импульсные последовательности: T1-WI, T2-WI, FLAIR, DWI, SWAN (SWI), 3D-TOF, TRICKS (TRACKS), SPGR. Пациент находился в положении лежа на спине, с зафиксированной головой.

При проведении МРТ в нативном виде были использованы следующие параметры сканирования на аппарате General Electric: T1-BI (TR: 352, TE: 11), T2-BI (TR: 4944-5133, TE: 10-104), FLAIR (TR: 8800, TE: 123), 3D-TOF (TR: 28, TE: 3,2), SPGR (TR: 4,4, TE: 1,4), среднее время сканирования составило 20 мин. На аппарате фирмы Philips параметры сканирования были следующие: 3D T1-BI (TR: 6,6, TE: 3), T2-BI (TR: 3000, TE: 80), FLAIR (TR: 4800, TE: 340), SWI (TR: 31, TE: 7,2), DWI (TR: 4937, TE: 68), 3D-TOF (TR: 23, TE: 3,5), среднее время проведения исследования – 17 мин.

Исследование по протоколу динамической МРА выполнялось при введении гадолиний-содержащего контрастного препарата объемом из расчета

0,1 ммоль/кг с применением болюсного шприца со скоростью 3 мл/с. Первоначально проводилось трехмерное сканирование с использованием маски с быстрым градиентом для определения зоны интереса. Далее сканирование осуществлялось одновременно с инъекцией контрастного препарата, всего было просканировано 14–16 временных фаз. Далее изображения каждой фазы автоматически вычитались из маски и были получены улучшенные изображения кровеносных сосудов различных фаз. Параметры динамической МРА были следующие: на аппарате General Electric (TRICKS): FOV: 24×19, NEX = 0,5, количество срезов 168, TR: 3,4, TE: 1,3, толщина среза 2,2 мм, среднее время сканирования – 1 мин, на аппарате фирмы Philips (TRACKS): FOV: 250×241, количество срезов 120, TR: 3,9, TE: 1,38, толщина среза 1,5 мм, среднее время – 1 мин.

Все изображения, полученные при МРТ исследования, обрабатывались на врачебных станциях General Electric и Philips соответственно. В отличие от станции Philips, которая позволяет просматривать только статические изображения, врачебная станция фирмы General Electric позволяет обрабатывать полученные изображения как в статическом варианте, так и в кинопетле.

Церебральная ангиография проводилась на аппаратах Siemens Axiom Artis DTC и General Electric Innova 3000, для пункции использовался метод Сельдинге-ра. После того как кровеносный сосуд был успешно пунктирован, катетер выводили, а ангиографический катетер помещали в вертебробазилярную артерию и общую сонную артерию соответственно для церебральной ангиографии.

Данные визуализации, полученные в результате исследований МРА, динамической МРА и ЦАГ были изучены врачами-рентгенологами, рентген-хирургами и нейрохирургами. Исследователи оценивали леченые аневризмы с точки зрения окклюзии, в соответствии с классификацией Raymond-Roy: полная окклюзия (1-я степень), резидуальная шейка (2-я степень) и резидуальная аневризма (3-я степень). Была проведена оценка состояния нелеченых аневризм у пациентов с множественными ЦА, аневризм de novo, а также поиск других сосудистых мальформаций. При оценке диагностической ценности динамической МРА применялись методы статистики, ЦАГ считали эталонным методом.

Таблица 1

Сроки проведения послеоперационных исследований в отдаленном периоде

Table 1

Timing of postoperative examinations in the long-term period

Срок	Количество пациентов
До 6 мес.	6
6 мес. – 1 год	7
1 год – 2 года	15
3 года и более	9
Всего	37

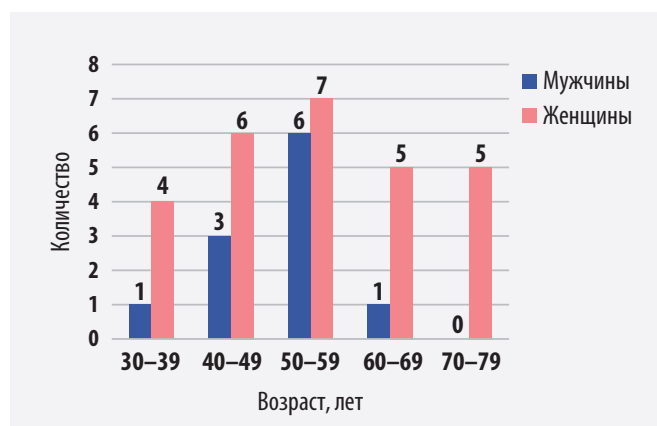


Рисунок 1. Распределение пациентов с лечеными ЦА по полу и возрасту

Figure 1. Distribution of patients with treated cerebral aneurysms by gender and age

Результаты

Исследование проводилось у пациентов в позднем послеоперационном периоде от 6 до 18 мес. Подробные данные отражены в таблице 1.

Всего в исследовании приняли участие 38 пациентов, из них 27 женщин (возраст от 32 до 77 лет) и 11 мужчин (возраст от 32 до 65 лет). Данные распределения пациентов по полу и возрасту представлены на рисунке 1.

При проведении динамической МРА и ЦАГ ни у одного из обследуемых пациентов побочных эффектов и ятрогенного повреждения отмечено не было.

При ЦАГ лучевая нагрузка на пациентов была в диапазоне от 4 мЗв до 19 мЗв, в среднем составила 10 мЗв.

Таблица 2

Объем выполненного оперативного вмешательства у пациентов с интракраниальными аневризмами

Table 2

Number of surgical procedures in patients with intracranial aneurysms

Клипирование		Эмболизация		Резецирование		Стентирование	
Острейшая фаза разрыва	Догеморрагический период	Острейшая фаза разрыва	Догеморрагический период	Острейшая фаза разрыва	Догеморрагический период	Острейшая фаза разрыва	Догеморрагический период
30	16	3	3	1	0	1	0

У 37 пациентов было проведено лечение ЦА, всего было пролечено 54 аневризмы. Были использованы следующие методы: клипирование, эмболизация, резецирование и стентирование. Методы оперативного вмешательства у данной группы пациентов представлены в таблице 2.

Клипирование проводили с использованием клипс из сплава титана производства Braun Aescular, в качестве эмболизующего материала применяли платиновые микроспирали Target.

Всем пациентам в данном исследовании была проведена МРА в нативном виде в режиме 3D TOF и TRICKS (TRACKS). После проведения МРА 34 пациентам была выполнена ЦАГ, двое пациентов от инвазивного исследования отказались, у одного отмечалась аллергическая реакция на йодсодержащие контрастные вещества и у одного выявили COVID-19, исследование было перенесено.

По локализации как леченых, так и нелеченых ЦА преобладали аневризмы внутренней сонной артерии, реже встречались аневризмы основной артерии. Данные по расположению ЦА представлены в таблице 3.

В результате проведения динамической МРА были найдены пришеечные части у 4-х клипированных аневризм и у 2-х эмболизированных, что подтвердилось на ЦАГ (рис. 2).

По результатам динамической МРА пришеечные части среди клипированных аневризм определялись в ПСоА (n = 2), ВСА (n = 1), ПВА (n = 1). Среди эмболизированных аневризм пришеечные части были обнаружены в ВСА (n = 1) и ОА (n = 1).

Таблица 3

Распределение внутричерепных аневризм по локализации по данным МРА и ЦАГ

Table 3

Distribution of intracranial aneurysms by location according to magnetic resonance angiography (MRA) and cerebral angiography data

Церебральные аневризмы*	Количество (n)	Частота (%)
ВСА: из них КО	13 10	25,5 71
ПСоА	12	21,8
ЗСоА	9	16,4
СМА	6	14,5
ПВА	4	7,3
ЗНМА	3	5,5
ПКА	2	3,6
ПМА	2	3,6
ОА	1	1,8

Прим.: *ВСА – внутренняя сонная артерия, КО – каротидно-офтальмический сегмент, ПСоА – передняя соединительная артерия, ЗСоА – задняя соединительная артерия, СМА – средняя мозговая артерия, ПВА – передняя ворсинчатая артерия, ЗНМА – задняя нижняя мозжечковая артерия, ПКА – перикаллезная артерия, ПМА – передняя мозговая артерия, ОА – основная артерия

Note: *BCA, internal carotid artery; КО, carotid-ophthalmic segment; ПСоА, anterior communicating artery; ЗСоА, posterior communicating artery; СМА, middle cerebral artery; ПВА, anterior choroidal artery; ЗНМА, posterior inferior cerebellar artery; ПКА, pericallosal artery; ПМА, anterior cerebral artery; ОА, basilar artery

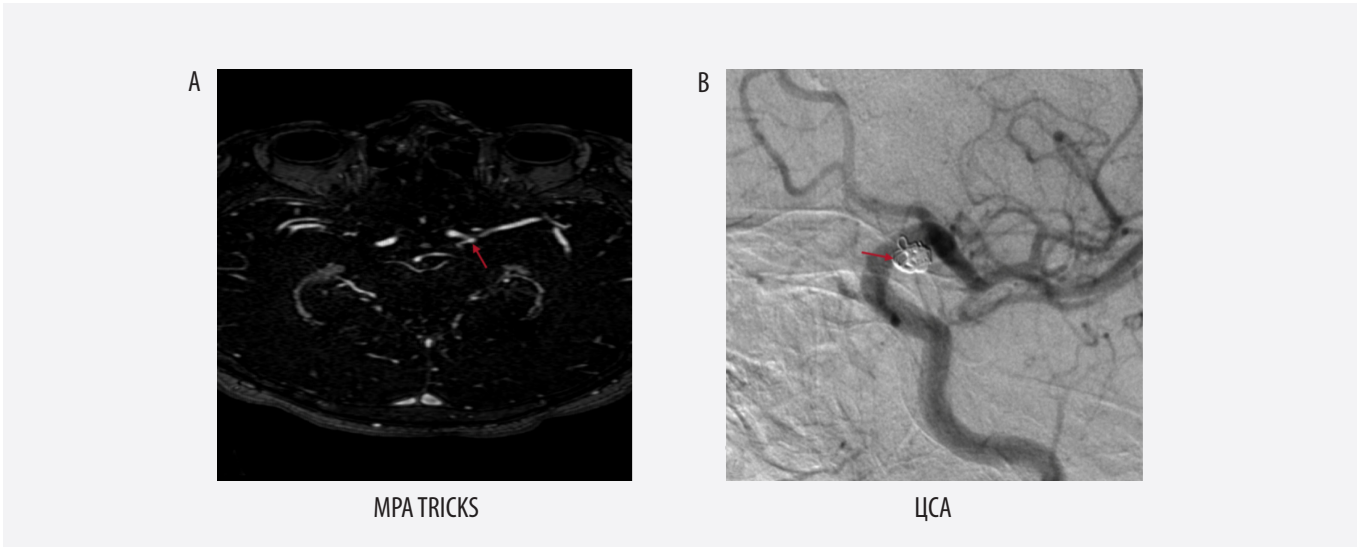


Рисунок 2. Пациент, 59 лет. Состояние после эмболизации аневризмы супраклиноидного отдела левой ВСА при помощи микроспиралей. По данным динамической МРА (А) визуализируется контрастированная пришеечная часть аневризмы, что было подтверждено по данным ЦАГ (В)

Figure 2. Male patient aged 59 years. Condition after microcoil embolization of an aneurysm of the supraclinoid portion of the left internal carotid artery (ICA). Dynamic MRA (A) shows the enhanced aneurysm neck remnant, which was confirmed by cerebral angiography findings (B)

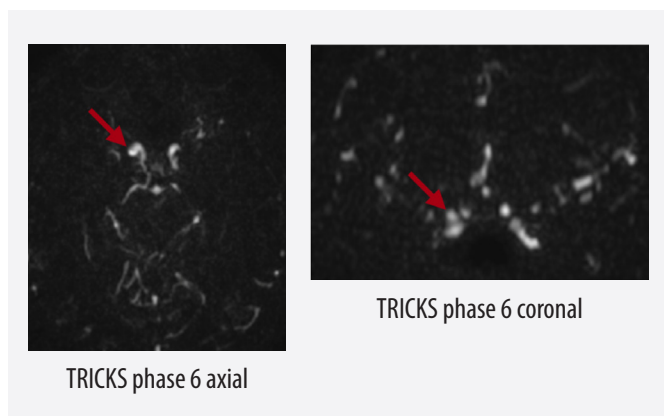


Рисунок 3. Пациентка, 46 лет. Состояние после клипирования разорвавшейся аневризмы правой ВСА в месте отхождения глазной артерии, клипирования интактной аневризмы правой ВСА в месте отхождения ЗСоА, клипирования интактной аневризмы передней соединительной артерии. По данным динамической МРА дополнительно найдена аневризма клиноидного отдела правой ВСА (стрелки)
 Figure 3. Female patient aged 46 years. Condition after clipping of a ruptured aneurysm of the right ICA at the origin of the ophthalmic artery, clipping of an intact aneurysm of the right ICA at the origin of the posterior communicating artery, and clipping of an intact aneurysm of the anterior communicating artery. Dynamic MRA additionally found an aneurysm of the clinoid segment of the right ICA (arrows)

По данным динамической МРА дополнительно были найдены 5 аневризм: 2 – в ВСА, по одной – в ОА, ПМА, ПСоА (рис. 3). Данные совпали с результатами ЦАГ.

В ходе нашего исследования была проведена сравнительная характеристика полученных данных

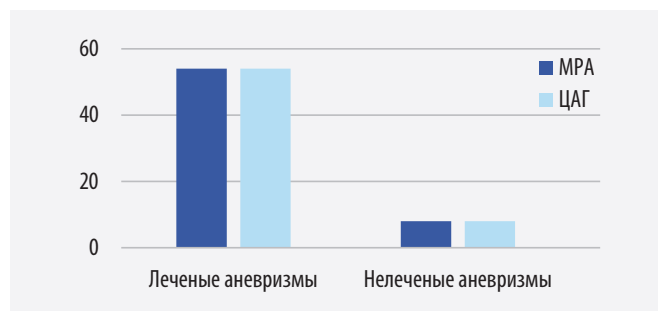


Рисунок 4. Данные по количеству аневризм при МРА и ЦАГ
 Figure 4. Data on the number of aneurysms according to MRA and cerebral angiography

при динамической МРА и ЦАГ. Отмечено, что при динамической МРА было выявлено 55 леченых аневризм, что соответствует результатам ЦАГ. Нелеченные аневризмы были выявлены у 5 человек при динамической МРА и ЦАГ. Полученные данные схематически представлены на рисунке 4.

При оценке нелеченых ЦА у пациентов с множественными аневризмами в динамике с предыдущими МР-исследованиями увеличения размеров внутрисерпных аневризм отмечено не было.

Данные нашего исследования показали, что оценить радикальность оперативного лечения ЦА на 3D TOF-MRA не представляется возможным в 100% случаев ввиду обширных артефактов от клипс и эмболизирующего материала, в то время как на динамической МРА артефакты нивелированы (рис. 5).

По результатам нашего исследования чувствительность и специфичность метода динамической МРА в выявлении пришеечной части ЦА составила 100

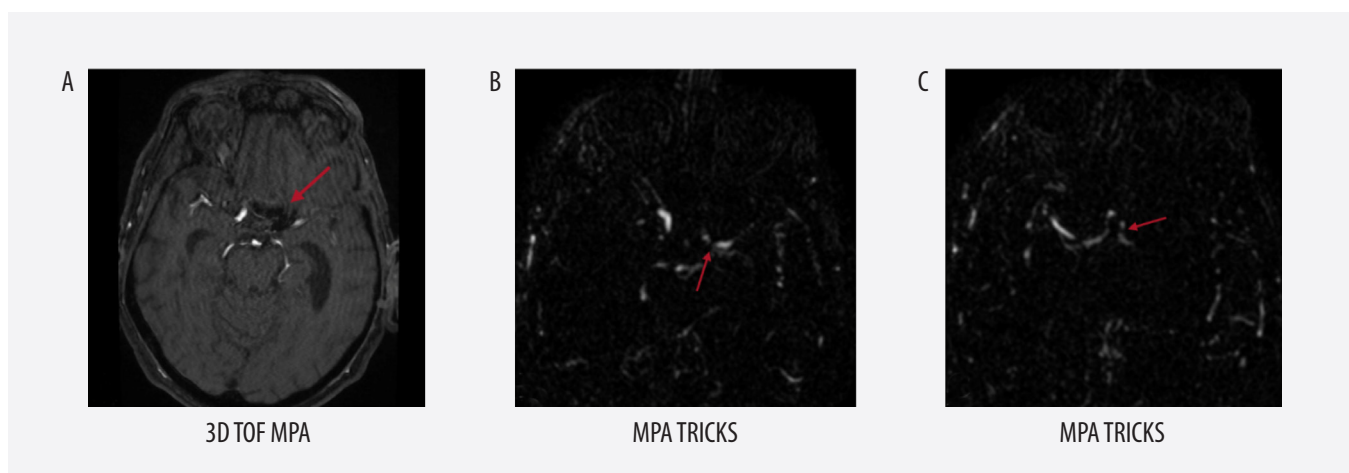


Рисунок 5. Пациент, 65 лет. Состояние после клипирования разорвавшейся аневризмы ВСА-ПВА, интактной аневризмы передней соединительной артерии. На 3D TOF-MRA (A) определяются артефакты от клипс, затрудняющих визуализацию. На динамической МРА (B, C) артефакты от клипс отсутствуют, качество изображения удовлетворительное, остаточного кровотока в клипированных аневризмах не выявлено
 Figure 5. Male patient aged 65 years. Condition after clipping of a ruptured ICA-anterior choroidal artery aneurysm and an intact aneurysm of the anterior communicating artery. 3D-TOF MRA (A) showed artifacts from clips that complicate visualization. On dynamic MRA (B, C), there were no artifacts from the clips; the image quality was good, and no residual flow was detected in the clipped aneurysms

Таблица 4
Диагностическая ценность динамической МРА по сравнению с ЦАГ
Table 4
Diagnostic value of dynamic MRA compared with cerebral angiography

ЦА	Чувствительность (%)	Специфичность (%)	Общая точность	Прогностическая ценность положительного результата теста (%)	Прогностическая ценность отрицательного результата теста (%)
Пришеечная часть	100	100	100	100	100
Нелеченые	100	100	100	100	100

и 100% соответственно, при выявлении нелеченых аневризм также – 100 и 100%. Данные по распределению диагностической ценности динамической МРА по сравнению с ЦАГ представлены в таблице 4.

Обсуждение

Летальность и инвалидность пациентов с разрывом ЦА, в том числе с их рецидивами, остаются достаточно высокими. Превентивное хирургическое лечение может эффективно предотвращать кровотечение из аневризмы, поэтому ранняя клиническая диагностика имеет жизненно важное значение для снижения смертности от ЦА [17].

Данное исследование было направлено на оценку способности динамической МРА выявлять резидуальные/рецидивирующие аневризмы после оперативного лечения внутричерепных аневризм. В настоящее время церебральная субтракционная ангиография остается «золотым стандартом» в визуализации леченых ЦА и обладает характеристиками высокой точности, однако имеет свои недостатки, такие как инвазивность процедуры, воздействие рентгеновского излучения и йодсодержащих контрастных веществ. В свою очередь метод МРТ также имеет свои ограничения, связанные преимущественно с артефактами от клипс или эмболизирующего материала. Однако с постепенным развитием технологий медицинской визуализации МРА совершенствовалась что привело к нивелированию артефактов, и в настоящее время динамическая МРА все чаще применяется как неинвазивный метод диагностики ЦА и послеоперационного контроля.

Метод TRICKS (TRACKS) полностью согласуется с ЦАГ для определения статуса окклюзии аневризмы в послеоперационном контроле. Для оценки внутричерепных аневризм *de novo* динамическая МРА также превосходит бесконтрастную 3D-TOF МРА при оценке формы аневризмы, обнаружении шейки [18, 19].

Таким образом, динамическая МРА может четко отображать структуру сосудов головного мозга преимущественно за счет эффекта потока крови и контраста статических тканей, а принцип заключается

в основном в эффекте многофазного сканирования и накопления контрастного препарата.

Однако данное исследование ограничено небольшим количеством клинических случаев. В дальнейшем планируется продолжить исследование на большем количестве пациентов с использованием аппаратов разных производителей и сравнить качество изображений, полученных при сканировании на 1,5Т и 3Т томографах.

Заключение

Использование динамической магнитно-резонансной ангиографии имеет ряд преимуществ перед церебральной ангиографией, такие как неинвазивность, высокое разрешение изображений церебральных артерий, отсутствие лучевой нагрузки и введения йодсодержащего контрастного препарата, а также отсутствие артефактов от металлических клипс или эмболизирующего материала. Динамическая МРА может использоваться в качестве метода визуализации первой линии при последующем наблюдении также благодаря преимуществу в отличие от 3D TOF-MRA в отношении визуализации леченых церебральных аневризм ввиду нивелирования артефактов.

Вклад авторов

Разработка концепции: все авторы

Разработка методологии: Е.И. Зяблова, В.В. Ткачев

Сбор, анализ и интерпретация данных: Д.О. Кардаильская, Е.И. Зяблова, И.Н. Север, Д.В. Литвиненко

Подготовка и редактирование текста: Д.О. Кардаильская, Е.И. Зяблова, И.Н. Север, Д.В. Литвиненко, В.В. Ткачев

Утверждение окончательного варианта статьи:

Д.О. Кардаильская, Е.И. Зяблова, Т.Н. Трофимова, В.В. Ткачев, В.А. Порханов

Author contributions

Conceptualization: All authors

Methodology: Zyablova, Tkachev

Acquisition, analysis, or interpretation of data: Kardailskaya, Zyablova, Sever, Litvinenko

Manuscript drafting and revising: Kardailskaya, Zyablova, Sever, Litvinenko, Tkachev

Final approval of the version to be published: Kardailskaya, Zyablova, Trofimova, Tkachev, Porhanov

Литература/References

1. Ajiboye N, Chalouhi N, Starke RM, Zanaty M, Bell R. Unruptured cerebral aneurysms: evaluation and management. *ScientificWorldJournal*. 2015;2015:954954. PMID: 26146657. PMCID: PMC4471401. <https://doi.org/10.1155/2015/954954>
2. Lee KS, Zhang JJY, Nguyen V, et al. The evolution of intracranial aneurysm treatment techniques and future directions. *Neurosurg Rev*. 2022;45(1):1–25. PMID: 33891216. PMCID: PMC8827391. <https://doi.org/10.1007/s10143-021-01543-z>
3. King JT Jr, Berlin JA, Flamm ES. Morbidity and mortality from elective surgery for asymptomatic, unruptured, intracranial aneurysms: a meta-analysis. *J Neurosurg*. 1994;81(6):837–842. PMID: 7965113. <https://doi.org/10.3171/jns.1994.81.6.0837>
4. Lauzier DC, Huguenard AL, Sreenc AI, et al. A review of technological innovations leading to modern endovascular brain aneurysm treatment. *Front Neurol*. 2023;14:1156887. PMID: 37114225. PMCID: PMC10126349. <https://doi.org/10.3389/fneur.2023.1156887>
5. Крылов В.В., Хамидова Л.Т., Природов А.В. и др. Хирургическое лечение разорвавшихся аневризм головного мозга. Диагностика в остром периоде кровоизлияния, хирургическая тактика, оценка ближайших и отдаленных исходов операций. Методические рекомендации №98. Департамент здравоохранения города Москвы; 2022.
6. Krylov VV, Khamidova LT, Prirodov AV, et al. *Surgical Treatment of Ruptured Cerebral Aneurysms. Diagnosis During the Acute Period of Hemorrhage, Surgical Strategies, Evaluation of Immediate and Long-term Surgical Outcomes. Methodological Recommendations No. 98*. Moscow Healthcare Department; 2022. (In Russ.).
7. Dawkins AA, Evans AL, Wattam J, et al. Complications of cerebral angiography: a prospective analysis of 2,924 consecutive procedures. *Neuroradiology*. 2007;49(9):753–759. PMID: 17594083. <https://doi.org/10.1007/s00234-007-0252-y>
8. Schaafsma JD, Koffijberg H, Buskens E, Velthuis BK, van der Graaf Y, Rinkel GJ. Cost-effectiveness of magnetic resonance angiography versus intra-arterial digital subtraction angiography to follow-up patients with coiled intracranial aneurysms. *Stroke*. 2010;41(8):1736–1742. PMID: 20595661. <https://doi.org/10.1161/STROKEAHA.110.585083>
9. Kwee TC, Kwee RM. MR angiography in the follow-up of intracranial aneurysms treated with Guglielmi detachable coils: systematic review and meta-analysis. *Neuroradiology*. 2007;49(9):703–713. PMID: 17646977. <https://doi.org/10.1007/s00234-007-0266-5>
10. Ahmed SU, Mocco J, Zhang X, et al. MRA versus DSA for the follow-up imaging of intracranial aneurysms treated using endovascular techniques: a meta-analysis. *J Neurointerv Surg*. 2019;11(10):1009–1014. PMID: 31048457. <https://doi.org/10.1136/neurintsurg-2019-014936>
11. Giordan E, Lanzino G, Rangel-Castilla L, Murad MH, Brinjikji W. Risk of de novo aneurysm formation in patients with a prior diagnosis of ruptured or unruptured aneurysm: systematic review and meta-analysis. *J Neurosurg*. 2018;131(1):14–24. PMID: 29979115. <https://doi.org/10.3171/2018.1.JNS172450>
12. Ferns SP, Sprengers ME, van Rooij WJ, et al. De novo aneurysm formation and growth of untreated aneurysms: a 5-year MRA follow-up in a large cohort of patients with coiled aneurysms and review of the literature. *Stroke*. 2011;42(2):313–318. PMID: 21164110. <https://doi.org/10.1161/STROKEAHA.110.591594>
13. Rahmah NN, Horiuchi T, Kusano Y, Sasaki T, Hongo K. De novo aneurysm: case reports and literature review. *Neurosurgery*. 2011;69(3):E761–E767. PMID: 21471840. <https://doi.org/10.1227/NEU.0b013e3182196489>
14. Sprengers ME, van Rooij WJ, Sluzewski M, et al. MR angiography follow-up 5 years after coiling: frequency of new aneurysms and enlargement of untreated aneurysms. *AJNR Am J Neuroradiol*. 2009;30(2):303–307. PMID: 18971290. PMCID: PMC7051390. <https://doi.org/10.3174/ajnr.A1353>
15. Kahana A, Lucarelli MJ, Grayev AM, Van Buren JJ, Burkat CN, Gentry LR. Noninvasive dynamic magnetic resonance angiography with Time-Resolved Imaging of Contrast KineticS (TRICKS) in the evaluation of orbital vascular lesions. *Arch Ophthalmol*. 2007;125(12):1635–1642. PMID: 18071114. <https://doi.org/10.1001/archophth.125.12.1635>
16. Расулова Е.В., Пронин И.Н., Афандиев Р.М., Захарова Н.Е. Диагностика метамерной спинальной артериовенозной мальформации (клинический случай). *Радиология – практика*. 2022;(1):91–100. <https://doi.org/10.52560/2713-0118-2022-1-91-100>
17. Rasulova EV, Pronin IN, Afandiev RM, Zakharova NE. Diagnosis of spinal metameric arteriovenous malformation syndrome (case report). *Radiology – Practice*. 2021;(1):91–100. (In Russ.). <https://doi.org/10.52560/2713-0118-2022-1-91-100>
18. Зяблова Е.И., Ткачев В.В., Порханов В.А. Динамическая магнитно-резонансная ангиография в послеоперационном контроле клипированных аневризм. *Российский электронный журнал лучевой диагностики*. 2023;13(2):16–23. <https://doi.org/10.21569/2222-7415-2023-13-2-16-23>
19. Ziyabova EI, Tkachev VV, Porkhanov VA. Postoperative control in patients with clipped intracranial aneurysms using dynamic magnetic resonance angiography. *Russian Electronic Journal of Radiology*. 2023;13(2):16–23. (In Russ.). <https://doi.org/10.21569/2222-7415-2023-13-2-16-23>
20. Lei X, Yang Y. Deep learning-based magnetic resonance imaging in diagnosis and treatment of intracranial aneurysm. *Comput Math Methods Med*. 2022;2022:1683475. PMID: 35734777. PMCID: PMC9208965. <https://doi.org/10.1155/2022/1683475>
21. Cirillo M, Scomazzoni F, Cirillo L, et al. Comparison of 3D TOF-MRA and 3D CE-MRA at 3T for imaging of intracranial aneurysms. *Eur J Radiol*. 2013;82(12):e853–e859. PMID: 24103356. <https://doi.org/10.1016/j.ejrad.2013.08.052>
22. Choi JW, Roh HG, Moon WJ, et al. Time-resolver 3D contrast-enhanced MRA on 3.0T: a non-invasive follow-up technique after stent-assisted coil embolization of the intracranial aneurysm. *Korean J Radiol*. 2011;12(6):662–670. PMID: 22043147. PMCID: PMC3194769. <https://doi.org/10.3348/kjr.2011.12.6.662>

Сведения об авторах

Кардаильская Дарья Олеговна, врач-рентгенолог, НИИ – Краевая клиническая больница № 1 им. проф. С.В. Очаповского; ассистент кафедры лучевой диагностики № 2, Кубанский государственный медицинский университет (Краснодар, Россия). <https://orcid.org/0000-0002-4725-4345>

Зяблова Елена Игоревна, к. м. н., заведующая рентгеновским отделением, НИИ – Краевая клиническая больница № 1 им. проф. С.В. Очаповского; заведующая кафедрой лучевой диагностики № 2 ФПК и ППС, Кубанский государственный медицинский университет (Краснодар, Россия). <https://orcid.org/0000-0002-6845-5613>

Трофимова Татьяна Николаевна, д. м. н., профессор, член-корреспондент РАН, главный научный сотрудник лаборатории нейровизуализации, Институт мозга человека им. Н.П. Бехтерева РАН (Санкт-Петербург, Россия). <https://orcid.org/0000-0003-4871-2341>

Север Ирина Николаевна, аспирантка кафедры нервных болезней и нейрохирургии, Кубанский государственный

медицинский университет (Краснодар, Россия). <https://orcid.org/0009-0001-2039-7629>

Литвиненко Дмитрий Викторович, к. м. н., врач-нейрохирург нейрохирургического отделения № 2, НИИ – Краевая клиническая больница № 1 им. проф. С.В. Очаповского (Краснодар, Россия). <https://orcid.org/0000-0002-4831-1874>

Ткачев Вячеслав Валерьевич, д. м. н., заведующий нейрохирургическим отделением № 2, НИИ – Краевая клиническая больница № 1 им. проф. С.В. Очаповского; доцент кафедры хирургии, Кубанский государственный медицинский университет (Краснодар, Россия). <https://orcid.org/0000-0002-5600-329X>

Порханов Владимир Алексеевич, академик РАН, профессор, д. м. н., главный врач, НИИ – Краевая клиническая больница № 1 им. проф. С.В. Очаповского; заведующий кафедрой онкологии с курсом торакальной хирургии, Кубанский государственный медицинский университет (Краснодар, Россия). <https://orcid.org/0000-0003-0572-1395>

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Author credentials

Daria O. Kardailskaya, Radiologist, Scientific Research Institute – Ochapovsky Regional Clinical Hospital No. 1; Assistant Professor at Diagnostic Radiology Department No. 2, Kuban State Medical University (Krasnodar, Russian Federation). <https://orcid.org/0000-0002-4725-4345>

Elena I. Zyablova, Cand. Sci. (Med.), Head of the Radiology Unit, Scientific Research Institute – Ochapovsky Regional Clinical

Hospital No. 1; Head of Diagnostic Radiology Department No. 2, Faculty of Continuing Professional Development and Retraining, Kuban State Medical University (Krasnodar, Russian Federation). <https://orcid.org/0000-0002-6845-5613>

Tatyana N. Trofimova, Dr. Sci. (Med.), Professor, Corresponding Member of the Russian Academy of Sciences, Principal Researcher, Neuroimaging Laboratory, Bekhtereva Institute for Human Brain of the Russian Academy of Sciences (Saint Petersburg, Russian Federation). <https://orcid.org/0000-0003-4871-2341>

Irina N. Sever, Postgraduate Student, Department of Neurological Disorders and Neurosurgery, Kuban State Medical University (Krasnodar, Russian Federation). <https://orcid.org/0009-0001-2039-7629>

Dmitriy V. Litvinenko, Cand. Sci. (Med.), Neurosurgeon, Neurosurgery Unit No. 2, Scientific Research Institute – Ochapovsky Regional Clinical Hospital No. 1 (Krasnodar, Russian Federation). <https://orcid.org/0000-0002-4831-1874>

Vyacheslav V. Tkachev, Dr. Sci. (Med.), Head of Neurosurgery Unit No. 2, Scientific Research Institute – Ochapovsky Regional Clinical Hospital No. 1; Associate Professor at the Surgery Department, Kuban State Medical University (Krasnodar, Russian Federation). <https://orcid.org/0000-0002-5600-329X>

Vladimir A. Porhanov, Academician of the Russian Academy of Sciences, Professor, Dr. Sci. (Med.), Chief Physician, Scientific Research Institute – Ochapovsky Regional Clinical Hospital No. 1; Head of the Oncology Department with the Thoracic Surgery Course, Faculty of Continuing Professional Development and Retraining, Kuban State Medical University (Krasnodar, Russian Federation). <https://orcid.org/0000-0003-0572-1395>

Conflict of interest: none declared.