



Изменения геометрии и гемодинамики после каротидной эндартерэктомии

©В.П. Дербилова^{1,2}, Р.А. Виноградов^{1,2*}, Ю.Н. Захаров⁴, В.Г. Борисов^{3,4}, Э.Э. Хетеева^{1,2},
Э.Р. Виноградова¹, О.М. Мещерякова², В.А. Гагин², Е.И. Зяблова^{1,2}, А.Г. Барышев^{1,2}

¹Кубанский государственный медицинский университет, Краснодар, Россия

²Научно-исследовательский институт – Краевая клиническая больница № 1 им. проф. С.В. Очаповского, Краснодар, Россия

³Кемеровский государственный университет, Кемерово, Россия

⁴Федеральный исследовательский центр информационных и вычислительных технологий, Новосибирск, Россия

* Р.А. Виноградов, *h*-индекс в Scopus 10, Научно-исследовательский институт – Краевая клиническая больница № 1 им. проф. С.В. Очаповского, 350086, Краснодар, ул. 1 Мая, 167, viromal@mail.ru

Поступила в редакцию 15 января 2024 г. Исправлена 20 марта 2024 г. Принята к печати 22 апреля 2024 г.

Резюме

Актуальность: За последние 60 лет проведено множество исследований, посвященных методам лечения церебрально-го атеросклероза. Предложено несколько модификаций открытого оперативного лечения – каротидной эндартерэктомии, представленной в нескольких техниках, однако не существует единого мнения о преимуществах какого-либо из способов операции.

Цель исследования: Анализ анатомии и геометрии бифуркации общей сонной артерии у пациентов с гемодинамически значимыми стенозами внутренней сонной артерии.

Материалы и методы: Геометрические параметры изучены на основе данных компьютерной томографии пациентов, прооперированных в «Научно-исследовательском институте – Краевой клинической больнице № 1 им. проф. С.В. Очаповского» г. Краснодара. Пациентам выполнены следующие операции: классическая, эверсионная, гломус-сбегаящая. С помощью специализированного программного обеспечения построены геометрические модели и изучена гемодинамика в области бифуркации общей сонной артерии пациентов в раннем послеоперационном периоде (1-е сут. после операции) и через 1 год после вмешательства.

Результаты: Зоны риска формирования атеросклеротической бляшки преимущественно располагаются в общей сонной артерии. Данный феномен объясняется техникой операции, а именно тем, что в этой области находится линия среза атеросклеротической бляшки. Модели, построенные на основании КТ-ангиограмм через год после операции, демонстрируют уменьшение площади рискованных зон. Вероятно, это происходит за счет сглаживания стенки артерий и формирования неинтимы.

Ключевые слова: атеросклероз, анатомия бифуркации общей сонной артерии, геометрия бифуркации общей сонной артерии, гемодинамика, каротидная эндартерэктомия, рестеноз

Цитировать: Дербилова В.П., Виноградов Р.А., Захаров Ю.Н. и др. Изменения геометрии и гемодинамики после каротидной эндартерэктомии. *Инновационная медицина Кубани.* 2024;9(4):60–67. <https://doi.org/10.35401/2541-9897-2024-9-4-60-67>

Changes in Geometry and Hemodynamics After Carotid Endarterectomy

©Viktoriya P. Derbilova^{1,2}, Roman A. Vinogradov^{1,2*}, Yury N. Zakharov⁴, Vladimir G. Borisov^{3,4},
Elina E. Kheteeva^{1,2}, Elvira R. Vinogradova¹, Olga M. Meshcheryakova², Vladimir A. Gagin²,
Elena I. Zyablova^{1,2}, Aleksandr G. Baryshev^{1,2}

¹Kuban State Medical University, Krasnodar, Russian Federation

²Scientific Research Institute – Ochapovsky Regional Clinical Hospital No. 1, Krasnodar, Russian Federation

³Kemerovo State University, Kemerovo, Russian Federation

⁴Federal Research Center for Information and Computational Technologies, Novosibirsk, Russian Federation

* Roman A. Vinogradov, Scopus *h*-index 10, Scientific Research Institute – Ochapovsky Regional Clinical Hospital No. 1, ulitsa 1 Maya 167, Krasnodar, 350086, Russian Federation, viromal@mail.ru

Received: January 15, 2024. Received in revised form: March 20, 2024. Accepted: April 22, 2024.



Abstract

Background: Many studies on cerebral atherosclerosis and its treatment have been conducted over the past 60 years. Several modifications of open surgical treatment (carotid endarterectomy) have been proposed. There are several techniques of carotid endarterectomy; however, there is no consensus on advantages of any of these techniques.

Objective: To analyze the anatomy and geometry of the common carotid artery bifurcation in patients with hemodynamically significant stenoses of the internal carotid artery.

Materials and methods: To study geometric parameters, we used computed tomography data of patients operated on at the Scientific Research Institute – Ochapovsky Regional Clinical Hospital No. 1 (Krasnodar, Russian Federation). The patients underwent the following procedures: classical, eversion, or glomus-sparing carotid endarterectomy. We built geometric models using specialized software and studied hemodynamics at the common carotid artery bifurcation in the early postoperative period (1 day after surgery) and 1 year after surgery.

Results and conclusion: Zones at risk for atherosclerotic plaque formation are mainly in the common carotid artery. This phenomenon is explained by the surgery technique, namely, by the fact that the cut line of the atherosclerotic plaque is located in this region. Models built on the basis of computed tomographic angiograms 1 year after surgery demonstrate a decrease in the area of zones at risk. This might be due to the arterial wall smoothing and neointima formation.

Keywords: atherosclerosis, anatomy of the common carotid artery bifurcation, geometry of the common carotid artery bifurcation, hemodynamics, carotid endarterectomy, restenosis

Cite this article as: Derbilova VP, Vinogradov RA, Zakharov YuN, et al. Changes in geometry and hemodynamics after carotid endarterectomy. *Innovative Medicine of Kuban*. 2024;9(4):60–67. <https://doi.org/10.35401/2541-9897-2024-9-4-60-67>

Введение

Согласно последним мировым статистическим данным, инсульт является основной причиной инвалидности и смертности. Атеросклеротический стеноз сонных артерий вызывает около 18–25% случаев ишемического инсульта. Каротидная эндартерэктомия (КЭЭ) считается «золотым стандартом» лечения пациентов с гемодинамически значимыми стенозами внутренней сонной артерии (ВСА). Однако у 6–36% пациентов после КЭЭ может развиваться рестеноз. Как известно, в формировании неинтимы и рестеноза артерии участвуют те же клеточные механизмы, что и в атерогенезе [1, 2]. Помимо общеизвестных системных факторов риска, в развитии рестенозов большую роль играют местные факторы: техника оперативного вмешательства, особенности гемодинамики в области реконструкции, наличие заплаты из синтетического материала. Исследование характеристик кровотока, являющихся маркерами атерогенеза, – процесс трудоемкий и сложный, особенно *in vivo*. Целью моделирования кровотока является изучение пристеночного напряжения сдвига (wall shear stress, WSS), как касательной, составляющей сдвиговых напряжений течения вблизи стенки, а также RRT (relative residence time), характеризующего осцилляторность и среднее время нахождения частиц крови вблизи определенных участков внутренней стенки сосуда. На основании этих параметров оценивается расположение рискованных зон формирования атеросклеротических бляшек. Учитывая тот факт, что изменение локальной гемодинамики в зоне бифуркации является одним из факторов риска атеросклероза, важно оценить особенности гемодинамики после различных модификаций операций в раннем и отдаленном периодах. Понимание особенностей характера кровотока после оперативного лечения даст возможность выявить оптимальные размеры и форму нео-бифуркации общей сонной артерии (ОСА), а также способ оперативного лечения, при которых гемодинамика

в области реконструкции наиболее приближена к нормальным значениям, что позволит снизить вероятность рестеноза в послеоперационном периоде.

Цель исследования

Анализ анатомии и геометрии бифуркации общей сонной артерии у пациентов с гемодинамически значимыми стенозами внутренней сонной артерии.

Материалы и методы

Все пациенты, включенные в исследование, были обследованы и прооперированы в условиях ГБУЗ «Научно-исследовательский институт – Краевой клинической больницы № 1 им. проф. С.В. Очаповского» Минздрава Краснодарского края. Критерием включения явилось наличие гемодинамически значимого атеросклеротического стеноза внутренней сонной артерии. Пациентам выполнено оперативное вмешательство в объеме каротидной эндартерэктомии в различных модификациях: классическая, эверсионная, гломус-сберегающая. Выбор метода операции зависел от личных предпочтений хирурга. После операции проводилось два обследования пациентов: одно – в 1-е сут. после операции, а второе – с интервалом 12–18 мес. для анализа изменений формы сосудов, произошедших за это время. Данные о типе операции и времени обследования приведены в таблице 1.

В качестве исходных данных для построения геометрической формы сосудов использовались результаты мультиспиральной компьютерной томографии (КТ) обследований пациентов, представленные в формате DICOM. На основании этих данных с помощью приложений ClearCanvas (<https://clearcanvas.ca>), SimVascular (<https://simvascular.github.io/>), MeshMixer MeshMixer (<https://meshmixer.com/>) строились геометрические модели и расчетные сетки для последующего численного моделирования кровотока. Численные расчеты проводились методами вычислительной гидродинамики в приложении SimVascular.

Таблица 1
Данные о типе операции
Table 1
Information on surgery types

Наименование модели	Тип операции	Дата обследования	Возраст (лет)	Пол
Эверс_1	Эверсионная каротидная эндартерэктомия 1-е сут. после операции	12.04.2021 г.	74	женский
Эверс_1_1	Эверсионная каротидная эндартерэктомия через год после операции	16.05.2022 г.	74	женский
Глом_1	Гломус-сберегающая каротидная эндартерэктомия 1-е сут. после операции	12.04.2021 г.	74	женский
Глом_1_1	Гломус-сберегающая каротидная эндартерэктомия через год после операции	16.05.2022 г.	74	женский
Класс_1	Классическая каротидная эндартерэктомия 1-е сут. после операции	20.01.2021 г.	69	мужской
Класс_1__1	Классическая каротидная эндартерэктомия через год после операции	17.06.2022 г.	69	мужской

Для корректности сравнения результатов расчеты для всех моделей выполнялись с одинаковыми параметрами кровотока, соответствующими данным здорового человека [3]. В результате численных расчетов были получены массивы данных по скоростям установившегося периодического кровотока во внутренних точках сосуда в течение одного сердечного цикла с дискретизацией по времени в 10 миллисекунд.

Постпроцессингом полученных данных вычислялись поля показателя WSS на стенках сосудов, а также другие гемодинамические показатели, связанные с WSS [4, 5]. На основании этих расчетов строились зоны риска рестеноза на внутренней стенке бифуркации и прилегающих областях ОСА и ВСА. В качестве основного гемодинамического показателя при построении рискованных зон выбран показатель RRT, который учитывает как низкое значение пристеночного напряжения сдвига WSS, так и осцилляторность пристеночного течения [5]. Сравнение рискованного фактора проводится по RRT_{int} - интегральному значению показателя RRT по зоне риска, которая определяется как область стенки сосуда, в которой значение RRT превышает величину 6,25 Па⁻¹. Постпроцессинг, визуализация результатов расчетов, а также измерения и вспомогательные геометрические построения осуществлялись в приложении ParaView (<https://www.paraview.org/>).

Проводилось сравнение полученных данных между постоперационными и повторными моделями и с результатами аналогичных расчетов, выполненных на моделях сосудов практически здоровых людей [3].

Результаты

Построение моделей и сравнение геометрических параметров

На основе данных КТ были построены трехмерные модели постоперационных пациентов в 1-е сут. после операции и через 1 год. Изображения построен-

ных геометрических моделей попарно представлены на рисунке 1.

Для оценки изменения геометрической формы в раннем и позднем постоперационных периодах строились поперечные сечения ОСА и ВСА (рис. 2),

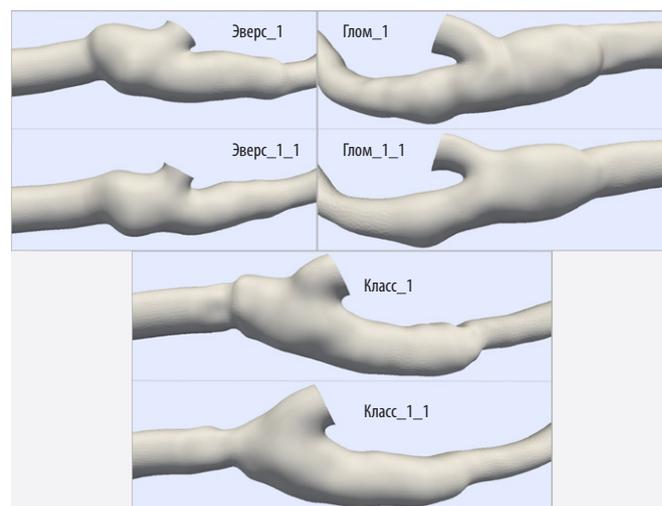


Рисунок 1. Геометрические модели: Эверс_1 – эверсионная каротидная эндартерэктомия – 1-е сут. после операции; Эверс_1_1 – эверсионная каротидная эндартерэктомия через год после операции; Глом_1 – гломус-сберегающая каротидная эндартерэктомия – 1-е сут. после операции; Глом_1_1 – гломус-сберегающая каротидная эндартерэктомия через год после операции; Класс_1 – классическая каротидная эндартерэктомия – 1-е сут. после операции; Класс_1_1 – классическая каротидная эндартерэктомия через год после операции

Figure 1. Geometric models: Эверс_1, eversion carotid endarterectomy 1 day after surgery; Эверс_1_1, eversion carotid endarterectomy 1 year after surgery; Глом_1, glomus-sparing carotid endarterectomy 1 day after surgery; Глом_1_1, glomus-sparing carotid endarterectomy 1 year after surgery; Класс_1, classical carotid endarterectomy 1 day after surgery; Класс_1_1, classical carotid endarterectomy 1 year after surgery

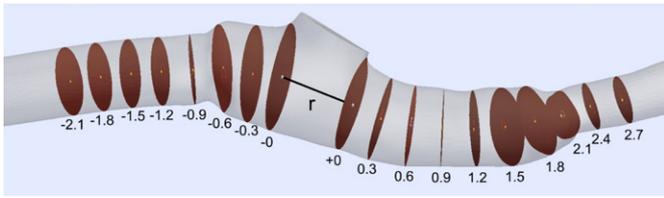


Рисунок 2. Поперечные сечения модели классической каротидной эндартерэктомии через год после операции
 Figure 2. Cross sections in the classical carotid endarterectomy model 1 year after surgery

и сравнивались условные диаметры сечений между соответствующими парами моделей.

Площади сечений вычислялись в режиме постпроцессинга, под условным диаметром сечения подразумевался диаметр, равный площади круга. Процесс построения сечений начинается с сечения «+0», которое строится немного дистальнее седловины бифуркации. Затем строится сечение «-0» на границе с областью присоединения наружной сонной артерии. Остальные сечения строятся с шагом 0,3 см в проксимальном и дистальном направлениях, при этом под расстоянием между сечениями подразумевается расстояние между их геометрическими центрами, которые также вычисляются в режиме постпроцессинга. Расстояния r между нулевыми сечениями моделей «Классической КЭЭ» равно 0,76 см, для моделей «Эверсионной КЭЭ» и «Гломус-сберегающей КЭЭ» r равно 0,56 см

и 0,57 см соответственно. Значения диаметров сечений (см) приведены в таблице 2.

Диаграммы зависимости диаметров поперечных сечений (см) от позиций сечений приведены на рисунке 3. Как видно из диаграмм на рисунке 3 и из таблицы 2, входные диаметры ОСА и выходные диаметры ВСА для постоперационных и повторных моделей каждого пациента приблизительно совпадают. Это говорит в пользу корректности масштабирования моделей при построении.

Изменения в ОСА (интервал $[-2,1; -0]$) для всех типов КЭЭ можно охарактеризовать как сглаживание стенки артерии с уменьшением ее диаметра. Сглаживание стенки артерии, вероятно, происходит за счет формирования неоинтимы.

По результатам расчетов во всех моделях построены зоны риска (рис. 4). Рисксовая зона определялась превышением значения показателя RRT величины $6,25 \text{ Па}^{-1}$. Цвет раскраски определялся величиной логарифма от $RRT+1$ в интервале от 0 до 6 в соответствии с приведенной на рисунке цветовой шкалой.

Зоны риска моделей после эверсионной и гломус-сберегающих КЭЭ локализируются преимущественно в области ОСА, что связано с технической особенностью операции. При выполнении эндартерэктомии из ОСА атеросклеротическая бляшка отсекается поперечно. Кроме того, в области ОСА располагается поперечный шов артериотомии. При выполнении

Таблица 2
 Диаметры поперечных сечений (см)
 Table 2
 Diameters of cross sections (cm)

	Эверс_1	Эверс_1_1	Глом_1	Глом_1_1	Класс_1	Класс_1_1
-2,1 см	0,76	0,78	0,64	0,67	0,67	0,66
-1,8 см	0,75	0,76	0,65	0,67	0,66	0,67
-1,5 см	0,73	0,76	0,64	0,67	0,66	0,66
-1,2 см	0,74	0,77	0,68	0,66	0,67	0,66
-0,9 см	0,89	0,79	0,87	0,66	0,63	0,65
-0,6 см	1,00	0,91	0,93	0,79	0,88	0,57
-0,3 см	1,08	1,00	0,95	0,89	0,98	0,68
-0	1,02	0,96	0,88	0,87	1,05	0,97
+0	0,82	0,76	0,67	0,57	0,93	0,97
0,3 см	0,83	0,74	0,64	0,53	0,82	0,84
0,6 см	0,79	0,74	0,60	0,58	0,79	0,78
0,9 см	0,74	0,70	0,53	0,47	0,74	0,75
1,2 см	0,70	0,66	0,49	0,40	0,73	0,73
1,5 см	0,67	0,60	0,47	0,35	0,76	0,71
1,8 см	0,53	0,52	0,46	0,34	0,71	0,65
2,1 см	0,50	0,51	0,44	0,37	0,51	0,57
2,4 см	0,52	0,54	0,42	0,37	0,48	0,50
2,7 см	0,51	0,50	0,40	0,37	0,48	0,48

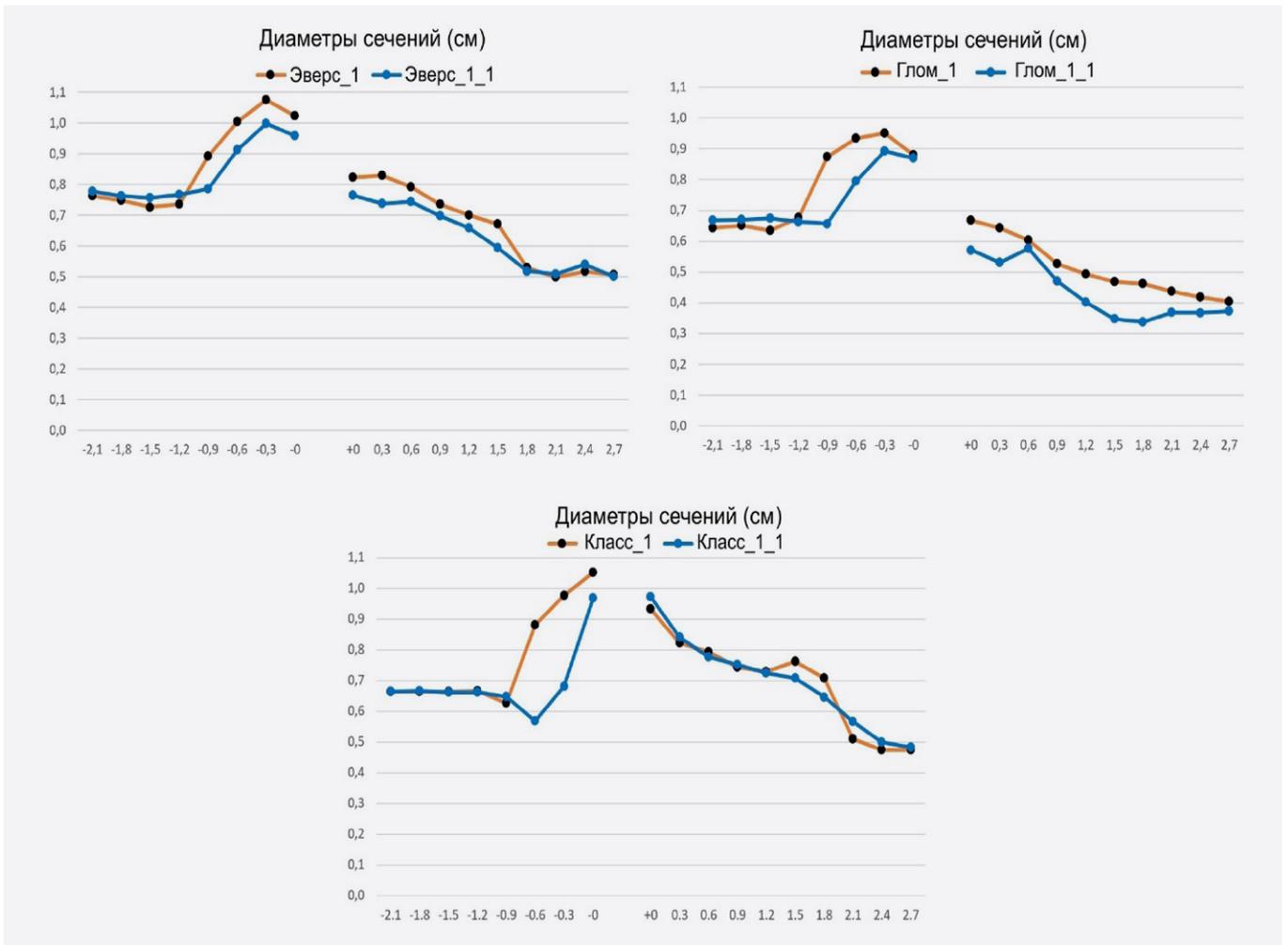


Рисунок 3. Диаметры поперечных сечений (см)
 Figure 3. Diameters of cross sections (cm)

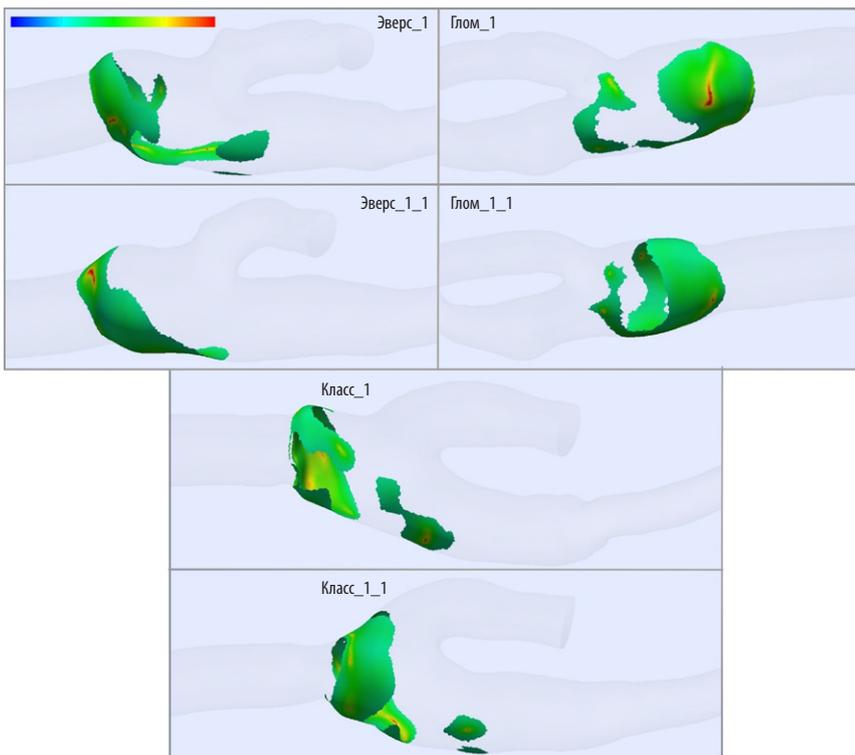


Рисунок 4. Диаметры поперечных сечений (см): Эверс_1 – эверсионная каротидная эндартерэктомия – 1-е сут. после операции; Эверс_1_1 – эверсионная каротидная эндартерэктомия через год после операции; Глом_1 – гломус-сберегающая каротидная эндартерэктомия – 1-е сут. после операции; Глом_1_1 – гломус-сберегающая каротидная эндартерэктомия через год после операции; Класс_1 – классическая каротидная эндартерэктомия – 1-е сут. после операции; Класс_1_1 – классическая каротидная эндартерэктомия через год после операции
 Figure 4. Diameters of cross sections (cm): Эверс_1, eversion carotid endarterectomy 1 day after surgery; Эверс_1_1, eversion carotid endarterectomy 1 year after surgery; Глом_1, glomus-sparing carotid endarterectomy 1 day after surgery; Глом_1_1, glomus-sparing carotid endarterectomy 1 year after surgery; Класс_1, classical carotid endarterectomy 1 day after surgery; Класс_1_1, classical carotid endarterectomy 1 year after surgery

Таблица 3
Значения показателя RRT_int (Па⁻¹см²)
Table 3
RRT_int values (Pa⁻¹cm²)

	Эверс_1	Эверс_1_1	Глом_1	Глом_1_1	Класс_1	Класс_1_1
RRT_int	21,9	18,4	28,6	19,4	33,1	34,9
%	100%	84%	100%	69%	100%	105%

классических КЭЭ в зону артериотомии имплантируется синтетическая заплата (в нашем исследовании использовался ксеноперикард). Зона риска после классической КЭЭ более обширная и переходит на область ВСА. Значения показателя RRT_int (Па⁻¹ см²) по рисковым зонам и процентные изменения показателя по парам моделей приведены в таблице 3.

При сравнении гемодинамических параметров попарно в 1-е сут. после операции и через год нами обнаружено, что показатель RRT_int для моделей эверсионной и гломус-сберегающей КЭЭ улучшился на 16 и 31% соответственно, а для моделей классической КЭЭ остался в пределах погрешности.

Обсуждение и выводы

Каротидная эндартерэктомия – предпочтительный метод лечения гемодинамически значимых атеросклеротических стенозов ВСА. Метод зарекомендовал себя благодаря своей эффективности и безопасности. Это отражается в ежегодном увеличении количества открытых оперативных вмешательств по всему миру [6–9]. Известно несколько модификаций оперативного лечения, которые различны по технике исполнения, времени пережатия артерий, риску развития осложнений и вероятности развития рестеноза. Клинические рекомендации четко не регламентируют выбор метода операции, оставляя его на усмотрение оперирующего хирурга. Изменение локальной гемодинамики в области бифуркации общей сонной артерии, наряду с системными факторами риска атеросклероза, играет большую роль в возникновении постоперационного рестеноза.

Изучение локальной гемодинамики в области бифуркации ОСА с помощью пациентспецифического компьютерного моделирования течения с использованием методов вычислительной гидродинамики (computational fluid dynamics, CFD) позволяет определить области бифуркации ОСА, имеющие высокий риск атерогенеза. Влияние изменений локальной гемодинамики на формирование атеросклеротических бляшек описано в работах ряда исследователей [10, 11]. Однако в литературе встречаются научные труды, в которых рассмотрены модели сосудов без патологии, а также с гемодинамически значимыми и незначимыми стенозами артерий. Практическую ценность, на наш взгляд, имеет изучение постоперационных

моделей, так как оно позволит хирургам понять какая модификация операции сможет повысить эффективность хирургического лечения.

Согласно данным нашего исследования, зоны риска постоперационных и повторных моделей смещены в сторону ОСА, особенно после эверсионной и гломус-сберегающей методик. Это связано с тем, что в этой области располагается линия среза атеросклеротической бляшки. Данное наблюдение демонстрирует преимущество этих операций над использованием синтетических заплат. Вторым важным наблюдением работы является то, что модели, построенные на основании КТ-ангиограмм через год после операции, демонстрируют уменьшение рисков зон. Вероятно, это происходит за счет формирования неоинтимы. Мы считаем, что данное исследование необходимо продолжить для получения большего объема информации, что позволит корректно оценить гемодинамические особенности постоперационных бифуркаций и обосновать выбор метода открытого хирургического лечения, имеющего минимальный риск рестеноза в отдаленном послеоперационном периоде.

Вклад авторов

Концепция и дизайн исследования: В.П. Дербилова, Р.А. Виноградов, Ю.Н. Захаров, В.Г. Борисов, Э.Э. Хетеева, Э.Р. Виноградова, О.М. Мещерякова, В.А. Гагин
Проведение статистического анализа: В.П. Дербилова, Ю.Н. Захаров, В.Г. Борисов
Написание статьи: В.П. Дербилова, Р.А. Виноградов, Ю.Н. Захаров, В.Г. Борисов
Исправление статьи: Р.А. Виноградов, Е.И. Зяблова, А.Г. Барышев
Утверждение окончательной версии: В.П. Дербилова, Р.А. Виноградов, Е.И. Зяблова, А.Г. Барышев

Author contributions

Concept and design: Derbilova, Vinogradov, Zakharov, Borisov, Kheteeva, Vinogradova, Meshcheryakova, Gagin
Statistical analysis: Derbilova, Zakharov, Borisov
Manuscript drafting: Derbilova, Vinogradov, Zakharov, Borisov
Manuscript revising: Vinogradov, Zyablova, Baryshev
Final approval of the version to be published: Derbilova, Vinogradov, Zyablova, Baryshev

Литература/References

1. Clagett GP. Intimal hyperplasia and restenosis after carotid endarterectomy. *Journal of Vascular Surgery*. 1989;10(5):577–579. [https://doi.org/10.1016/0741-5214\(89\)90150-x](https://doi.org/10.1016/0741-5214(89)90150-x)

2. DeGroot RD, Lynch TG, Jamil Z, Hobson RW 2nd. Carotid stenosis: long-term noninvasive follow-up after carotid endarterectomy. *Stroke*. 1987;18(6):1031–1036. PMID: 3318001. <https://doi.org/10.1161/01.str.18.6.1031>

3. Дербилова В.П., Виноградов Р.А., Захаров Ю.Н. и др. Компьютерное моделирование гемодинамических показателей в нормальной бифуркации общей сонной артерии. *Ангиология и сосудистая хирургия*. 2022;28(1):29–35. <https://doi.org/10.33029/1027-6661-2022-28-1-29-35>

Derbilova VP, Vinogradov RA, Zakharov YuN, et al. Computer-assisted modeling of hemodynamic parameters in normal bifurcation of common carotid artery. *Angiology and Vascular Surgery*. 2022;28(1):29–35. (In Russ.). <https://doi.org/10.33029/1027-6661-2022-28-1-29-35>

4. Lee SW, Antiga L, Steinman DA. Correlations among indicators of disturbed flow at the normal carotid bifurcation. *J Biomech Eng*. 2009;131(6):061013. PMID: 19449967. <https://doi.org/10.1115/1.3127252>

5. Harrison GJ, How TV, Poole RJ, et al. Closure technique after carotid endarterectomy influences local hemodynamics. *J Vasc Surg*. 2014;60(2):418–427. PMID: 24657293. <https://doi.org/10.1016/j.jvs.2014.01.069>

6. Казанцев А.Н., Тарасов Р.С., Бурков Н.Н. и др. Госпитальные результаты чрескожного коронарного вмешательства и каротидной эндартерэктомии в гибридном и поэтапном режимах. *Ангиология и сосудистая хирургия*. 2019;25(1):101–107. PMID: 30994615. <https://doi.org/10.33529/angio2019114>

Kazantsev AN, Tarasov RS, Burkov NN, et al. In-hospital outcomes of transcatheter coronary intervention and carotid endarterectomy in hybrid and staged regimens. *Angiol Sosud Khir*. 2019;25(1):101–107. (In Russ.). PMID: 30994615. <https://doi.org/10.33529/angio2019114>

7. Казанцев А.Н., Тарасов Р.С., Бурков Н.Н., Шабаяев А.Р., Лидер Р.Ю., Миронов А.В. Каротидная эндартерэктомия: трехлетние результаты наблюдения в рамках одноцентрового регистра. *Ангиология и сосудистая хирургия*. 2018;24(3):101–107. PMID: 30321153.

Kazantsev AN, Tarasov RS, Burkov NN, Shabaev AR, Lider RI, Mironov AV. Carotid endarterectomy: three-year results of follow up within the framework of a single-centre register. *Angiol Sosud Khir*. 2018;24(3):101–107. (In Russ.). PMID: 30321153.

8. Казанцев А.Н., Бурков Н.Н., Борисов В.Г. и др. Компьютерное моделирование гемодинамических показателей в бифуркации сонных артерий после каротидной эндартерэктомии. *Ангиология и сосудистая хирургия*. 2019;25(3):107–112. PMID: 31503254. <https://doi.org/10.33529/ANGIO2019311>

Kazantsev AN, Burkov NN, Borisov VG, et al. Computer-assisted simulation of haemodynamic parameters of carotid artery bifurcation after carotid endarterectomy. *Angiol Sosud Khir*. 2019;25(3):107–112. (In Russ.). PMID: 31503254. <https://doi.org/10.33529/ANGIO2019311>

9. Miniño AM, Murphy SL, Xu J, Kochanek KD. Deaths: final data for 2008. *Natl Vital Stat Rep*. 2011;59(10):1–126. PMID: 22808755.

10. Пирадов М.А., Максимова М.Ю., Танашян М.М. *Инсульт : пошаговая инструкция*. 2-е изд., перераб. и доп. ГЭОТАР-Медиа; 2020:9–12.

Piradov MA, Maksimova MYu, Tanashyan MM. *Stroke : Step-by-step Instructions*. 2nd rev ed. GEOTAR-Media; 2020:9–12. (In Russ.).

11. Libby P, Ridker PM, Maseri A. Inflammation and atherosclerosis. *Circulation*. 2002;105(9):1135–1143. PMID: 11877368. <https://doi.org/10.1161/hc0902.104353>

Сведения об авторах

Дербилова Виктория Павловна, аспирант кафедры хирургии № 1 ФПК и ППС, Кубанский государственный медицинский университет; врач сердечно-сосудистый хирург отделения сосудистой хирургии № 2, НИИ – Краевая клиническая больница № 1 им. проф. С.В. Очаповского (Краснодар, Россия). <https://orcid.org/0000-0002-7696-7520>

Виноградов Роман Александрович, д. м. н., заведующий отделением сосудистой хирургии № 1, НИИ – Краевая клиническая больница № 1 им. проф. С.В. Очаповского; профессор кафедры хирургии № 1 ФПК и ППС, Кубанский государственный медицинский университет (Краснодар Россия). <https://orcid.org/0000-0001-9421-586X>

Захаров Юрий Николаевич, д. ф.-м. н., заведующий лабораторией, Федеральный исследовательский центр информационных и вычислительных технологий (Новосибирск, Россия). <https://orcid.org/0000-0002-2895-1428>

Борисов Владимир Геральдович, к. ф.-м. н., доцент кафедры фундаментальной математики, Кемеровский государственный университет (Кемерово, Россия); с. н. с., Федеральный исследовательский центр информационных и вычислительных технологий (Новосибирск, Россия). <https://orcid.org/0000-0003-1340-3434>

Хетеева Элина Эльбрусовна, лаборант кафедры хирургии № 1 ФПК и ППС, Кубанский государственный медицинский университет; врач сердечно-сосудистый хирург отделения сосудистой хирургии № 1, НИИ – Краевая клиническая больница № 1 им. проф. С.В. Очаповского (Краснодар, Россия). <https://orcid.org/0000-0002-2582-3551>

Виноградова Эльвира Романовна, студентка 6-го курса лечебного факультета, Кубанский государственный медицинский университет (Краснодар, Россия). <https://orcid.org/0000-0003-4194-2013>

Мещерякова Ольга Михайловна, врач ультразвуковой диагностики, НИИ – Краевая клиническая больница № 1 им. проф. С.В. Очаповского (Краснодар, Россия). <https://orcid.org/0000-0002-9863-1243>

Гагин Владимир Анатольевич, врач-рентгенолог, НИИ – Краевая клиническая больница № 1 им. проф. С.В. Очаповского (Краснодар, Россия). <https://orcid.org/0000-0001-9171-2633>

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

Барышев Александр Геннадьевич, д. м. н., доцент, заведующий кафедрой хирургии № 1 ФПК и ППС, Кубанский государственный медицинский университет; заместитель главного врача по хирургической помощи, НИИ – Краевая клиническая больница № 1 им. проф. С.В. Очаповского (Краснодар, Россия). <https://orcid.org/0000-0002-6735-3877>

Финансирование

Исследование выполнено при финансовой поддержке Кубанского научного фонда в рамках научно-инновационного проекта № НИИ-20.1/22.11.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Author credentials

Viktoriya P. Derbilova, Postgraduate Student, Surgery Department No. 1, Faculty of Continuing Professional Development and Retraining, Kuban State Medical University; Cardiovascular Surgeon, Vascular Surgery Unit No. 2, Scientific Research Institute – Ochapovsky Regional Clinical Hospital No. 1 (Krasnodar, Russian Federation). <https://orcid.org/0000-0002-7696-7520>

Roman A. Vinogradov, Dr. Sci. (Med.), Head of the Vascular Surgery Unit No. 1, Scientific Research Institute – Ochapovsky Regional Clinical Hospital No. 1; Professor at the Surgery Department No. 1, Faculty of Continuing Professional Development and Retraining, Kuban State Medical University (Krasnodar, Russian Federation). <https://orcid.org/0000-0001-9421-586X>

Yury N. Zakharov, Dr. Sci. (Phys.-Math.), Laboratory Head, Federal Research Center for Information and Computational Technologies (Novosibirsk, Russian Federation). <https://orcid.org/0000-0002-2895-1428>

Vladimir G. Borisov, Cand. Sci. (Phys.-Math.), Associate Professor, Associate Professor at the Department of Fundamental Mathematics, Kemerovo State University (Kemerovo, Russian Federation); Senior Researcher, Federal Research Center for Information and Computational Technologies (Novosibirsk, Russian Federation). <https://orcid.org/0000-0003-1340-3434>

Elina E. Kheteeva, Department Assistant, Surgery Department No. 1, Faculty of Continuing Professional Development and Retraining, Kuban State Medical University; Cardiovascular Surgeon, Vascular Surgery Unit No. 1, Scientific Research

Institute – Ochapovsky Regional Clinical Hospital No. 1 (Krasnodar, Russian Federation). <https://orcid.org/0000-0002-2582-3551>

Elvira R. Vinogradova, 6th Year Student, Faculty of Medicine, Kuban State Medical University (Krasnodar, Russian Federation). <https://orcid.org/0000-0003-4194-2013>

Olga M. Meshcheryakova, Ultrasonographer, Scientific Research Institute – Ochapovsky Regional Clinical Hospital No. 1 (Krasnodar, Russian Federation). <https://orcid.org/0000-0002-9863-1243>

Vladimir A. Gagin, Radiologist, Scientific Research Institute – Ochapovsky Regional Clinical Hospital No. 1 (Krasnodar, Russian Federation). <https://orcid.org/0000-0001-9171-2633>

Elena I. Zyblova, Dr. Sci. (Med.), Associate Professor, Head of the Diagnostic Radiology Department No. 2, Kuban State Medical University; Head of the Radiology Unit, Scientific Research Institute – Ochapovsky Regional Clinical Hospital No. 1 (Krasnodar, Russian Federation). <https://orcid.org/0000-0002-6845-5613>

Aleksandr G. Baryshev, Dr. Sci. (Med.), Associate Professor, Head of the Surgery Department No. 1, Faculty of Continuing Professional Development and Retraining, Kuban State Medical University; Deputy Chief Physician for Surgical Care, Scientific Research Institute – Ochapovsky Regional Clinical Hospital No. 1 (Krasnodar, Russian Federation). <https://orcid.org/0000-0002-6735-3877>

Funding:

The study was supported by the Kuban Science Foundation under scientific and innovation project No. HIII-20.1/22.11.

Conflict of interest: none declared.