

<https://doi.org/10.29001/2073-8552-2023-39-3-86-94>  
УДК 616.133.33-004.6-073.432.1:616.379-008.64-06

# Визуализирующие методы в оценке влияния сахарного диабета 2-го типа на цереброваскулярный резерв и структуру головного мозга у пациентов с гемодинамически значимым стенозом каротидных артерий

И.Л. Буховец, А.С. Максимова, М.С. Кузнецов, Б.Н. Козлов,  
И.Н. Ворожцова, В.Ю. Усов

Научно-исследовательский институт кардиологии, Томский национальный исследовательский медицинский центр Российской академии наук, Томск, Россия, 634012, Российская Федерация, Томск, ул. Киевская, 111а

## Аннотация

**Актуальность.** Среди многообразия эндокринных заболеваний сахарный диабет 2-го типа (СД 2-го типа) занимает одно из лидирующих мест. Инсульт у пациентов с СД 2-го типа развивается в 10 раз чаще, чем в популяции. Основным методом предотвращения серьезного осложнения в виде инсульта у пациентов с хирургическим стенозом сонных артерий является каротидная эндартерэктомия (КЭЭ). Следовательно, изучение влияния СД 2-го типа на цереброваскулярный резерв и структуру головного мозга на этапах хирургической реконструкции каротидных артерий является актуальной проблемой ангиохирургии.

**Цель:** по данным ультразвукового (УЗИ) и магнитно-резонансного (МР) методов диагностики у пациентов с односторонним гемодинамически значимым стенозом каротидных артерий оценить влияние СД 2-го типа на цереброваскулярный резерв и структуру головного мозга.

**Материал и методы.** Изучены результаты предоперационного обследования 44 пациентов с гемодинамически значимым стенозом внутренних сонных артерий (ВСА), проходивших ультразвуковое и магнитно-резонансное исследования каротидных артерий на до- и послеоперационном этапах. Были выделены две группы: группа I ( $n = 15$ ) – с верифицированным диагнозом СД 2-го типа, группа II ( $n = 29$ ) – без СД. Для оценки цереброваскулярного резерва в процессе ультразвукового исследования были проведены функциональные тесты: гиперкапнический и гипероксический.

**Результаты.** Анализ результатов показал статистически значимые различия скоростных показателей кровотока по ВСА в обеих группах. При межгрупповом сравнении до операции в средней мозговой артерии на стороне гемодинамически значимого стеноза определена статистически значимая разница в пульсационном и индексе периферического сопротивления; после операции каротидной эндартерэктомии (КЭЭ) в общих сонных артериях (ОСА) с обеих сторон найдены значимые межгрупповые различия скоростных показателей кровотока. У пациентов с хирургически корригируемым стенозом в сочетании с СД 2-го типа при гипероксическом тесте индекс реактивности (ИР) статистически значимо отличался на стороне стеноза в сравнении с аналогичным показателем в группе без СД, при этом значение ИР указывает на отрицательную либо парадоксальную реакции мозгового кровотока. При гиперкапническом тесте статистически значимых отличий между группами не было.

**Заключение.** Применение простых и доступных функциональных тестов для оценки цереброваскулярного резерва, структуры бляшки и изменений структуры головного мозга у пациентов с СД 2-го типа на этапе предоперационной подготовки, по данным ультразвукового и магнитно-резонансного исследования, позволяет провести коррекцию лечения и последующей защиты головного мозга на этапе хирургического вмешательства для предотвращения возможных осложнений.

<b>Ключевые слова:</b>	стенозирующий атеросклероз сонных артерий, сахарный диабет, ультразвуковая диагностика, функциональные пробы, каротидная эндартерэктомия, каротидный атеросклероз.
<b>Конфликт интересов:</b>	авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.
<b>Прозрачность финансовой деятельности:</b>	никто из авторов не имеет финансовой заинтересованности в представленных материалах или методах.

Буховец Ирина Львовна, e-mail: bil@cardio-tomsk.ru.

<b>Соответствие принципам этики:</b>	все пациенты, включенные в исследование, подписали информированное согласие на участие в данном исследовании. Работа одобрена комитетом по биомедицинской этике НИИ кардиологии Томского НИМЦ.
<b>Для цитирования:</b>	Буховец И.Л., Максимова А.С., Кузнецов М.С., Козлов Б.Н., Ворожцова И.Н., Усов В.Ю. Визуализирующие методы в оценке влияния сахарного диабета 2-го типа на цереброваскулярный резерв и структуру головного мозга у пациентов с гемодинамически значимым стенозом каротидных артерий. <i>Сибирский журнал клинической и экспериментальной медицины</i> . 2023;39(3):86–94. <a href="https://doi.org/10.29001/2073-8552-2023-39-3-86-94">https://doi.org/10.29001/2073-8552-2023-39-3-86-94</a> .

## Imaging methods in assessing the surveillance of type 2 diabetes mellitus for cerebrovascular reserve and brain disease in patients with hemodynamically significant carotid stenosis

Irina L. Bukhovets, Aleksandra S. Maksimova, Boris N. Kozlov, Mikhail S. Kuznetsov, Irina N. Vorozhtsova, Wladimir Yu. Ussov

Cardiology Research Institute, Tomsk National Research Medical Center, Russian Academy of Sciences, Tomsk, Russia, 111a, Kievskaya str., Tomsk, 634012, Russian Federation

### Abstract

**Introduction.** Type 2 diabetes is the most common form of endocrine disease. Diabetes is a well-established risk factor for stroke. Carotid endarterectomy (CEE) is the main method of preventing a serious complication of stroke in patients with carotid stenosis. Consequently, the assess of type 2 diabetes on the results of CEE is an urgent problem of angiosurgery.

**Aim:** To assess effect of type 2 diabetes on cerebrovascular reserve capacity and brain structure in patients with carotid atherosclerosis by ultrasound and magnetic resonance diagnostic.

**Material and Methods.** 44 patients with hemodynamically significant stenosis of the internal carotid arteries (ICA), who underwent ultrasound and magnetic resonance examinations of the carotid arteries at the pre- and postoperative stages were included in this study. Two groups were formed: group I ( $n = 15$ ) – with a verified diagnosis of type 2 diabetes, group II ( $n = 29$ ) – without diabetes. To assess the cerebrovascular reserve, functional hypercapnic and hyperoxic tests were performed.

**Results.** The analysis of the results showed statistically significant differences in the ICA blood flow in both groups. Intergroup comparison before surgery in the middle cerebral artery on the side of hemodynamically significant stenosis revealed a statistically significant difference in pulsation and peripheral resistance index. In the common carotid arteries on both sides, significant intergroup differences were found in the velocity parameters of blood flow after the CEE operation. The reactivity index in patients with surgical stenosis with type 2 diabetes in the hyperoxic test was statistically significantly different on the side of the stenosis compared to the same indicator in the group without diabetes. There were no statistically significant differences in the hypercapnic test. The value of reactivity index indicates a negative or paradoxical reaction.

**Conclusion.** The use of simple and accessible functional tests to assess cerebrovascular reserve, plaque structure and changes in the brain in patients with type 2 diabetes at the stage of preoperative preparation according to ultrasound and MRI studies allows us to correct the treatment and subsequent protection of the brain at the stage of surgery to prevent possible complications.

<b>Keywords:</b>	carotid atherosclerosis, ultrasound diagnostics, functional tests, diabetes mellitus, carotid endarterectomy.
<b>Conflict of interest:</b>	the authors declare no conflict of interest.
<b>Financial disclosure:</b>	none of the authors has a financial interest in the presented materials or method.
<b>Adherence to ethical standards:</b>	all patients included signed an informed consent to participate in this study. The study was approved by the Biomedical Ethics Committee of the Research Institute of Cardiology, Tomsk NRMС.

**For citation:**

Bukhovets I.L., Maksimova A.S., Kozlov B.N., Kuznetsov M.S., Vorozhtsova I.N., Ussov W.Yu. Imaging methods in assessing the surveillance of type 2 diabetes mellitus for cerebrovascular reserve and brain disease in patients with hemodynamically significant carotid stenosis. *The Siberian Journal of Clinical and Experimental Medicine*. 2023;38(3):86–94. <https://doi.org/10.29001/2073-8552-2023-38-3-86-94>.

## Введение

Среди многообразия эндокринных заболеваний сахарный диабет 2-го типа (СД 2-го типа) занимает одно из лидирующих мест. По данным М. Но и соавт. и М. Basevski, в настоящее время СД 2-го типа страдают от 2 до 4% населения нашей планеты [1, 2]. И.И. Дедов и соавт. в своем исследовании отмечают, что в России, по данным регистра СД, на СД 2-го типа приходится 92,5%, это составляет 4,43 млн человек, и пока число заболевших с каждым годом увеличивается [3]. В.Ю. Калашников и соавт. подтверждают, что СД 2-го типа является независимым фактором риска развития и более тяжелого течения сердечно-сосудистых заболеваний [4]. Данные последних лет определяют среди причин смерти пациентов с СД 2-го типа преобладающие позиции сердечно-сосудистой патологии, то есть те случаи, когда непосредственной причиной смерти пациентов стали такие болезни, как инфаркт миокарда, нарушения мозгового кровообращения, хроническая сердечно-сосудистая недостаточность и острые сердечно-сосудистые события [3, 4].

Патология магистральных артерий головы (МАГ), которые при СД 2-го типа часто поражаются атеросклерозом, играет существенную роль в развитии cerebrovascularных нарушений [4, 5]. Следует отметить, что инсульт у пациентов с СД 2-го типа развивается в 10 раз чаще, чем в популяции [2, 8, 11]. Основным методом предотвращения серьезного осложнения в виде инсульта у данных пациентов является хирургическая реконструкция сонных артерий [6–9]. Каротидная эндартерэктомия (КЭЭ) – ангиохирургическое реконструктивное лечение с удалением атеросклеротической бляшки из сонной артерии, приводящее к восстановлению или улучшению кровоснабжения головного мозга.

В связи с этим изучение влияния СД 2-го типа на результаты хирургического лечения атеросклеротического поражения брахиоцефальных артерий является актуальной проблемой сердечно-сосудистой хирургии [6, 8–10]. Общеизвестный факт, что ауторегуляция церебрального кровообращения обеспечивается сбалансированным сочетанием миогенных, метаболических и нейрогенных механизмов. Существующая годами гипергликемия приводит к развитию патологических процессов, вызывающих хронические нарушения церебральной гемодинамики [2, 9, 11–13]. Развивающиеся на этом фоне микро- и макроангиопатии влияют на интенсивность метаболизма нейронов, что вызывает еще большее снижение уровня мозгового кровотока и тканевой гипоксии [2, 5].

Однако, несмотря на такую широкую распространенность СД 2-го типа среди населения, в современной литературе, касающейся открытой хирургической реконструкции сонных артерий, существует недостаточное количество информации о влиянии СД 2-го типа на изменение показателей мозговой гемодинамики на этапе предоперационной подготовки.

Цель исследования: по данным ультразвукового и магнитно-резонансного методов диагностики у пациентов

с односторонним гемодинамически значимым стенозом каротидных артерий оценить влияние СД 2-го типа на цереброваскулярный резерв и структуру головного мозга.

## Материал и методы

Изучены результаты предоперационного обследования 44 пациентов со стенозом внутренних сонных артерий (ВСА), которым в качестве предоперационной подготовки и постоперационного контроля КЭЭ были проведены ультразвуковое и магнитно-резонансное исследования. Всех пациентов разделили на две группы: группа I ( $n = 15$ ) – с верифицированным диагнозом СД 2-го типа как сопутствующей патологии, группа II ( $n = 29$ ) – без СД. В обеих группах преобладали пациенты мужского пола (группа I – 10 мужчин и 5 женщин; группа II – 22 мужчины и 7 женщин), пациенты были сопоставимы по возрасту независимо от пола и наличия СД 2-го типа. Из коморбидной патологии наиболее часто встречались: гипертоническая болезнь (группа I – 60%, группа II – 57%) и ишемическая болезнь сердца (группа I – 67%, группа II – 58%).

На этапе предоперационной подготовки всем пациентам был проведен комплекс инструментальных, лучевых и лабораторных исследований: электрокардиография (ЭКГ), эхокардиография (ЭхоКГ), велоэргометрия, рентгеноконтрастная селективная ангиография с вентрикулографией левого желудочка, общий и биохимический анализы крови.

Неоднократные преходящие нарушения мозгового кровообращения в стеноз-зависимой гемисфере или малые инсульты зарегистрированы в анамнезе у всех пациентов с СД 2-го типа. Пациенты отмечали периодически возникающие головные боли, головокружения, нарушение координации, онемение в конечностях, нарушение слуха, зрения или другие преходящие эпизоды неврологической дисфункции. У большинства из них на предоперационных магнитно-резонансных исследованиях были выявлены очаги перенесенного нарушения мозгового кровообращения (рис. 1).

В нашем исследовании ни у одного из пациентов не отмечались крупноочаговые инсульты головного мозга. Из 15 пациентов с СД 2-го типа у 5 имелась клиника диабетической полинейропатии: снижение рефлексов, нарушения чувствительности.

Для оценки изменения параметров кровотока в церебральных артериях до и после операции сравнение проводилось в каждой из двух групп. С целью уточнения влияния СД 2-го типа на гемодинамические результаты хирургической реконструкции ВСА исследовались межгрупповые различия. Сохранность гемодинамического цереброваскулярного резерва определялась по параметрам кровотока в средней мозговой артерии (СМА) в исходном состоянии и в условиях функциональных проб на этапе предоперационного обследования.

Для оценки состояния мозговой и сердечной гемодинамики использовалась ультразвуковая диагностическая система GE Vivid E9. Ультрасонография сосудов прово-

дилась по стандартному протоколу. Исследовали кровоток в общих сонных артериях (ОСА), в ВСА, СМА, в позвоночных артериях (ПА) (сегмент V2), синхронизируя с

ЭКГ [16, 17]. У всех пациентов в обязательном порядке измеряли систолическое и диастолическое артериальное давление, частоту сердечных сокращений.

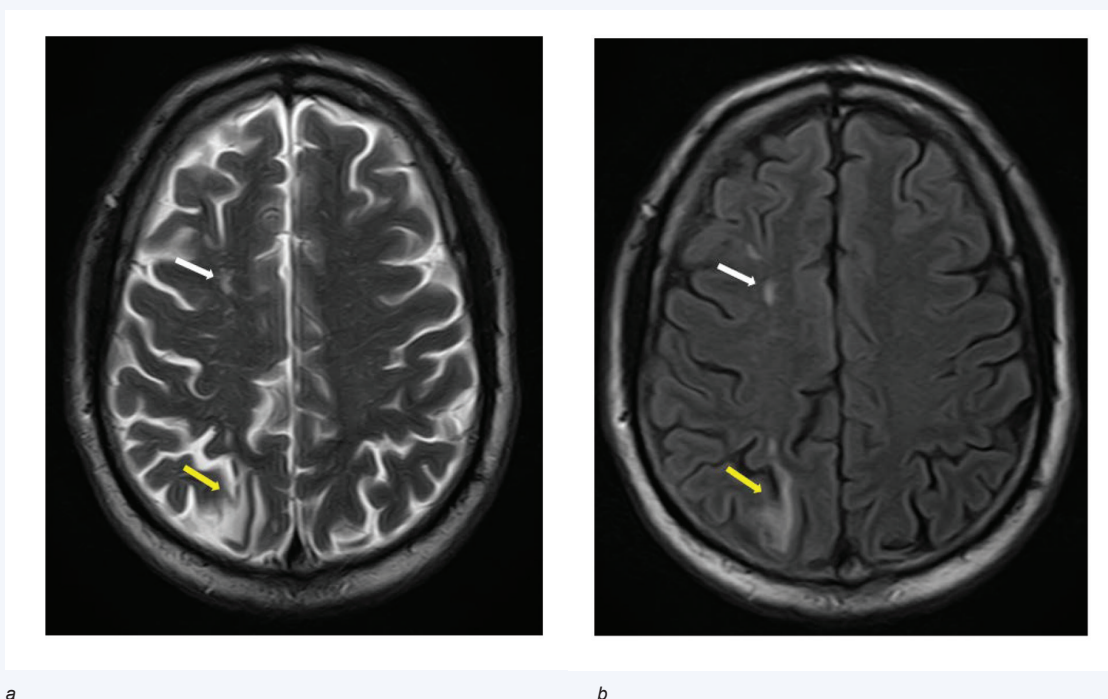


Рис. 1. Магнитно-резонансная томография головного мозга: а – T2-ВИ, б – режим FLAIR, аксиальные срезы. Пациент Б., 63 года, с верифицированным диагнозом сахарного диабета из группы I, жалобы на периодические головные боли, головокружение, поступил с правосторонним стенозом внутренней сонной артерии – 85% для проведения плановой операции каротидной эндартерэктомии. Представлено предоперационное магнитно-резонансное исследование головного мозга с признаками перенесенного нарушения мозгового кровообращения и кистозно-глиозной трансформацией в его исходе справа в бассейне терминальных ветвей задней (желтые стрелки) и передней (белые стрелки) мозговой артерий

Fig. 1. Brain MRI: a – T2-WI, b – FLAIR mode, axial slices. Patient B., 63 years old, with verified diagnosis of group I diabetes mellitus, complaints of recurrent headaches, dizziness, was admitted with right-sided internal carotid stenosis – 85% for elective surgery of carotid endarterectomy. A preoperative MRI study of the brain with the signs of a suffered cerebral circulation disorder and cystic-glial transformation in its outcome on the right side in the basin of the terminal branches of the posterior (yellow arrows) and anterior (white arrows) cerebral arteries was presented

Note: MRI – magnetic resonance imaging

Ультразвуковое исследование проводили по стандартной методике, включающей определение следующих показателей: диаметр сосуда, основные скоростные показатели, объемная скорость кровотока (ОСК); для оценки функционального состояния – пульсационный индекс и индекс периферического сопротивления.

Для оценки цереброваскулярного резерва проводили гиперкапническую пробу с задержкой дыхания на  $22 \pm 3$  с и гипероксический тест с форсированной гипервентиляцией в течение 60 с с расчетом индекса реактивности (ИР). Согласно данным литературы, были выделены три типа реакции мозгового кровотока на проводимые функциональные пробы: положительная реакция (ИР = 1,1–1,4), отрицательная реакция (ИР = 0,9–1,1), парадоксальная реакция (ИР < 0,9) [14, 15].

С применением магнитно-резонансной томографии (МРТ) оценивали состояние структуры головного мозга. Использовался томограф Toshiba Titan Vantage (1,5 Т), изображения получали в T1-, T2-взвешенных режимах, а также в режиме T1-FLAIR с получением аксиальных, фронтальных и сагиттальных срезов. Протокол магнитно-резонансного исследования головного мозга включал аксиальные томосрезы в T1-ВИ (TE = 15 мс, TR = 400–

600 мс), T2-ВИ (TE = 100–110 мс, TR = 4000–7000 мс), Flair в аксиальной, корональной и сагиттальной плоскостях, а также срезы в режиме диффузионно-взвешенного изображения.

Все пациенты, включенные в исследование, подписали информированное согласие на участие в данном исследовании. Работа одобрена комитетом по биомедицинской этике НИИ кардиологии Томского НИМЦ.

Выполнен анализ результатов клинического обследования 44 пациентов. Статистический анализ полученных результатов проведен в программе STATISTICA 10.0. Оценку нормальности распределения количественных данных проводили с помощью критерия Шапиро – Уилка. Для зависимых выборок (до и после операции) в случае нормального распределения, использовали *t*-критерий Стьюдента для парных выборок, при отсутствии нормального распределения – тест Вилкоксона. В случае нормального распределения для сравнения двух независимых выборок (группа I и группа II), использовали *t*-критерий Стьюдента и *U*-тест Манна – Уитни при отсутствии нормального распределения. Результаты представлены как среднее и стандартное отклонение ( $M \pm SD$ ). Величину уровня значимости *p* принимали равной 0,05.



## Результаты

При анализе до- и послеоперационных результатов исследования получены статистически значимые различия скоростных показателей кровотока в ВСА в обеих группах. В группе I с СД 2-го типа получено статистически

значимое снижение кровотока ВСА на стороне операции и на контралатеральной стороне. В группе II без СД значимые изменения зарегистрированы в ВСА только на ипсилатеральной стороне гемодинамически значимого стеноза (рис. 2). Остальные исследуемые показатели двух групп различались незначимо.

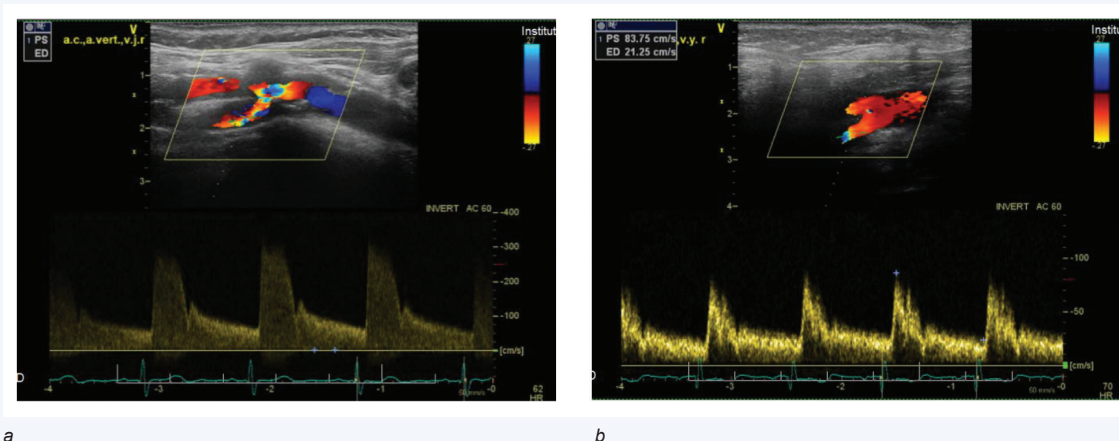


Рис. 2. Ультразвуковое исследование. Пациент Г., цветное доплеровское картирование внутренних сонных артерий с импульсно-волновым доплером. Выделенное изображение с желтым контуром показывает бифуркацию сонной артерии: а – до операции, Vps = 320 см/с; б – после операции КЭЭ, Vps = 85 см/с  
Fig. 2. Ultrasonography. Patient G., color Doppler mapping of the internal carotid arteries with pulsed wave Doppler. Highlighted image with yellow outline shows carotid bifurcation: a – preoperative, Vps = 320 cm/s; b – postoperative CEE, Vps = 85 cm/s

До операции в СМА на гомолатеральной стороне гемодинамически значимого стеноза обнаружена статистически значимая разница в пульсационном и индексе периферического сопротивления:  $RI = 0,57 \pm 0,11$ ,  $PI = 0,90 \pm 0,32$  – в группе I с СД;  $RI = 0,65 \pm 0,09$ ;  $PI = 1,14 \pm 0,36$  – в группе II без СД.

В группе пациентов с СД 2-го типа в СМА с обеих сторон были найдены статистически значимые различия между скоростными показателями в исходном состоянии и на пике проводимой гиперкапнической пробы – отличались пиковая систолическая и максимальная конечная диастолическая скорости кровотока: на стороне стеноза Vps снижались, Ved, напротив, увеличилась. На контралатеральной стороне стенозу получено статистически значимое увеличение данных показателей. В условиях гипероксической пробы (с гипервентиляцией) значимых различий в исследуемых показателях СМА найдено не было.

В группе II на стороне более выраженной редукцией просвета ВСА при проведении пробы с задержкой дыхания в СМА статистически значимо увеличилась: Ved и снизился RI. На контралатеральной хирургическому стенозу стороне также значимо увеличилась Ved, снизились пульсационный индекс и индекс периферического сопротивления. При проведении пробы с форсированным дыханием было получено статистически значимое снижение следующих показателей: Vps, TAMX, RI, PI. На контралатеральной более выраженному стенозу стороне значимых различий при проведении пробы с гипервентиляцией найдено не было.

ИР у пациентов с хирургически корригируемым стенозом в сочетании с СД 2-го типа при гипероксическом тесте статистически значимо отличался на стороне стеноза в сравнении с аналогичным показателем в группе без СД,

при этом значение ИР указывает на отрицательную либо парадоксальную реакцию мозгового кровотока. При гиперкапническом тесте статистически значимых отличий между группами не было (таблица). Очевидно, что у пациентов с сахарным диабетом 2-го типа риск возможных осложнений во время проведения и в ранние сроки после КЭЭ увеличивается.

**Таблица.** Показатели индекса реактивности средней мозговой артерии в условиях гипероксической и гиперкапнической проб

**Table.** Middle cerebral artery reactivity index in hyperoxic and hypercapnic conditions

Группа Group	Тестируемая сторона Tested side	Проба с задержкой дыхания Test with breath hold	Проба с гипервентиляцией Test with hyper- ventilation
Группа I, СД+ Group I DM+ (n = 15)	Сторона стеноза Stenosis side	1,05 ± 0,19	0,73 ± 0,08; p < 0,05
Контралатеральная сторона Contralateral side		0,91 ± 0,21	0,96 ± 0,19
Группа II, СД- Group II DM- (n = 29)	Сторона стеноза Stenosis side	1,04 ± 0,16	0,92 ± 0,12
Контралатеральная сторона Contralateral side		0,90 ± 0,14	0,91 ± 0,28

Примечание: СД – сахарный диабет.

Note: DM – diabetes mellitus.

Значимые межгрупповые различия после операции КЭЭ при сравнении скоростных показателей кровотока между двумя исследуемыми группами найдены в ОСА

с обеих сторон: произошло снижение пиковой систолической, максимальной конечной диастолической, усредненных по времени максимальной, средней, объемной скорости кровотока, а также увеличились индексы периферического сопротивления и пульсационные индексы с обеих сторон. В остальных сосудах (ВСА, ПА, СМА) до и после операции статистически значимых различий найдено не было.

По данным МРТ головного мозга, у пациентов с СД в отличие от пациентов без СД 2-го типа чаще выявлялись признаки церебральной микроангиопатии. Дисциркуляторные нарушения на уровне микроциркуляции были установлены в 1,3 раза чаще, перивентрикулярная отечность и лейкоареоз – в 1,7, расширение периваскулярных пространств Вирхова – Робина – в 1,2, магнитно-резонансные признаки смешанной заместительной гидроцефалии – в 1,9 раза чаще.

### Обсуждение

Атеросклероз магистральных артерий головы является проявлением системного сосудистого повреждения, а наличие СД 2-го типа, приводящего к развитию микро-, макроангиопатий, только усугубляет ситуацию [1, 5, 12, 13]. Сочетание атерогенного действия гипергликемии с артериальной гипертензией и дислипидемией сопровождается нарушениями системы гемостаза и гемореологии, что существенно увеличивает риск прогрессирования атеросклеротического процесса и способствует развитию цереброваскулярных осложнений, приводящих к необходимости хирургических вмешательств [7, 9, 10]. Адекватная адренергическая иннервация сосудов головного мозга регулирует их тонус в ответ на воздействие различных раздражителей. У пациентов с наличием СД 2-го типа имеется бета-адреномиметическая симпатическая дисфункция, развиваются дегенеративные процессы в парасимпатических нитрозергических нервах, окружающих крупные сосуды головного мозга и участвующих в их дилатации путем высвобождения оксида азота. Все это приводит к снижению вазодилатирующего ответа артерий головного мозга, особенно в случае наличия выраженной патологии МАГ [16, 17].

При анализе до- и послеоперационных результатов исследования в обеих группах определены статистически значимые различия скоростных показателей кровотока в ВСА. В группе I с СД 2-го типа получено снижение кровотока ВСА на стороне операции и на контралатеральной стороне, что указывает на нарушение ауторегуляции у этих пациентов. В группе II без СД 2-го типа статистически значимые изменения зарегистрированы во ВСА только на стороне хирургического стеноза, что является логичным результатом данной операции и согласуется с данными других авторов [9, 10].

Остальные исследуемые показатели двух групп различались незначимо. До операции в СМА на стороне хирургического стеноза обнаружена значимая разница в пульсационном индексе и индексе периферического сопротивления между группами: у пациентов с СД 2-го типа показатели периферического сопротивления были статистически значимо выше, что вполне объясняется более выраженным нарушением упруго-эластических свойств сосудистой стенки. Следовательно, в основе повышения индексов периферического сопротивления в сочетании с вторичным снижением скоростных показателей лежит структурная перестройка сосудистой

стенки, являющаяся следствием диабетической микроангиопатии.

Кроме этого, в ОСА с обеих сторон найдены значимые межгрупповые различия скоростных показателей кровотока после операции КЭЭ: произошло снижение пиковой систолической скорости, максимальной конечной диастолической, усредненной по времени максимальной и усредненной по времени средней скоростей, а главное, объемной скорости кровотока [18]. Как следствие реконструктивного вмешательства, увеличились пульсационные индексы и индексы периферического сопротивления с обеих сторон. В остальных сосудах до и после операции значимых различий найдено не было.

У больных СД 2-го типа в отличие от лиц с нормогликемией реже развиваются внутримозговые кровоизлияния, однако значимо чаще возникают лакунарные инфаркты, обусловленные липогиалинозом мелких артерий и их атеротромбозом. Согласно данным МРТ, отмечается повышенная частота лейкоареоза (диффузного двустороннего изменения белого вещества головного мозга) у больных СД, но при этом сведений, подтверждающих взаимосвязь лейкоареоза с атеросклеротическим поражением цереброваскулярных сосудов, в литературе не обнаружено.

Также отмечается положительная корреляционная связь между длительностью течения СД и степенью поражения белого вещества головного мозга [5, 12]. У всех наших пациентов с СД 2-го типа в отличие от пациентов без диабета по результатам МРТ головного мозга были выявлены признаки церебральной микроангиопатии. Дисциркуляторные нарушения на уровне микроциркуляции были обнаружены в 86% случаев, перивентрикулярная отечность и лейкоареоз – в 71%, расширение периваскулярных пространств Вирхова – Робина – в 92%, магнитно-резонансные признаки смешанной заместительной гидроцефалии – в 92% случаев.

Как известно, ауторегуляция мозгового кровообращения – это процесс регуляции и поддержания постоянного церебрального кровотока в достаточно широком диапазоне артериального давления за счет изменения резистивных сосудов пiallyно-капиллярной системы и, таким образом, сохранения стабильности мозгового перфузионного давления. При этом если у пациента гемодинамически значимый стеноз ВСА, церебральное перфузионное давление уменьшается выше места стеноза, что приводит к максимально возможной активации системы ауторегуляции церебральных артериол с целью поддержать мозговой кровоток на уровне, достаточном для сохранения жизненно важных функций. Если перфузионное давление продолжает снижаться, то это приводит к максимальному расширению артериол, мозговой кровоток в таком случае значительно уменьшается, а риск инсульта потенциально увеличивается [13, 17].

Поэтому для прогноза возможного развития ишемических инсультов и профилактической коррекции важно точное определение степени гемодинамических нарушений. Установлено, что у пациентов с СД 2-го типа в нашем исследовании при использовании пробы с гипероксией – гипоксией (методически нетрудно применимой у всех групп больных) определяется значимая связь с состоянием реактивности сосудистого русла головного мозга, тогда как гиперкапническая проба с задержкой дыхания у пациентов обеих групп не дает достаточной информации.

Такие нарушения цереброваскулярной реактивности при проведении функциональной гипероксической пробы отмечались у всех пациентов группы I. Нарушение цереброваскулярного сосудистого резерва, определяемое в условиях теста с гипероксией, убедительно доказывает гемодинамическую значимость бляшки и, как следствие этого, необходимость проведения КЭЭ [19].

На этапе планирования операции КЭЭ особенно важным для пациентов с СД 2-го типа, необходимым и обязательным является определение не только очевидных параметров: степени стеноза, оценки характера поверхности, структуры атеросклеротической бляшки, но и оценка реактивности сосудов головного мозга, что поможет в определении тактики открытой хирургической реконструкции ВСА и предотвращении интра- и послеоперационных осложнений [14]. Пациентам с сопутствующей патологией в виде СД 2-го типа должно уделяться максимальное внимание в период предоперационной подготовки. Проведение несложных для пациента тестов с оценкой способности артериол головного мозга адекватно реагировать на изменение концентрации  $\text{CO}_2$  в крови, на наш взгляд, должно быть включено в протокол предоперационного ультразвукового исследования.

Данные реакции детерминированы способностью эндотелия сосудов в условиях гипоксии выделять оксид азота, индуцирующий расслабление, и лежат в основе эндотелий-зависимой вазодилатации. Наличие СД 2-го типа приводит к нарушению функции эндотелия и снижению выработки местного оксида азота [16–18, 20]. Дополнительное воздействие факторов риска способствует

дальнейшим изменениям структуры сосудистой стенки и еще большему ухудшению эндотелиальной функции, что определяет развитие церебральной ангиопатии у пациентов с СД 2-го типа.

Таким образом, открытые хирургические реконструкции, выполняемые у пациентов при сочетании гемодинамически значимого стеноза ВСА и СД 2-го типа на сосудах головного мозга, как правило, влекут за собой значительные колебания перфузионного давления, что нередко приводит к возникновению нарушений кровообращения головного мозга. Для профилактики таких осложнений необходима адекватная оценка состояния ауторегуляции мозгового кровотока в условиях дооперационного обследования пациента, особенно важной у пациентов с такой серьезной патологией, как СД 2-го типа, что позволит вовремя провести терапию, направленную на нормализацию измененного мозгового кровотока, значительно уменьшив шанс возникновения осложнений, и оптимизировать результаты ангиохирургического лечения.

## Заключение

Применение простых и доступных функциональных тестов с целью определения состояния цереброваскулярного резерва, структуры бляшки и изменений головного мозга у пациентов с СД 2-го типа в период предоперационной подготовки, по данным ультразвуковых и магнитно-резонансных исследований, позволяет провести коррекцию лечения и последующей защиты головного мозга на всех этапах хирургического вмешательства для предотвращения возможных осложнений.

## Литература / References

- Noh M., Kwon H., Jung C.H., Kwon S.U., Kim M.S., Lee W.J. et al. Impact of diabetes duration and degree of carotid artery stenosis on major adverse cardiovascular events: a single-center, retrospective, observational cohort study. *Cardiovasc. Diabetol.* 2017;16(1):74. DOI: 10.1186/s12933-017-0556-0.
- Bosevski M. Carotid artery disease in diabetic patients. *Pril. (Makedon. Akad. Nauk. Umet. Odd. Med. Nauki)*. 2014;35(3):149–161.
- Дедов И. И., Шестакова М. В., Викулова О. К., Железнякова А. В., Исаков М. А. Эпидемиологические характеристики сахарного диабета в Российской Федерации: клинико-статистический анализ по данным регистра сахарного диабета на 01.01.2021. *Сахарный диабет*. 2021;24(3):204–221. [Dedov I.I., Shestakova M.V., Vikulova O.K., Zheleznyakova A.V., Isakov M.A. Epidemiological characteristics of diabetes mellitus in the Russian Federation: clinical and statistical analysis according to the Federal diabetes register data of 01.01.2021. *Diabetes mellitus*. 2021;24(3):204–221. (In Russ.)]. DOI: 10.14341/DM12759.
- Калашников В. Ю., Викулова О. К., Железнякова А. В., Исаков М. А., Бондаренко И. З., Шестакова М. В. и др. Эпидемиология сердечно-сосудистых заболеваний у больных сахарным диабетом, по данным Федерального регистра Российской Федерации (2013–2016 гг.). *Сахарный диабет*. 2019; 22(2):105–114. [Kalashnikov V.Yu., Vikulova O.K., Zheleznyakova A.V., Isakov M.A., Bondarenko I.Z., Shestakova M.V. et al. Epidemiology of cardiovascular diseases among patients with diabetes mellitus according to the Federal diabetes register of the Russian Federation (2013–2016). *Diabetes mellitus*. 2019;22(2):105–114. (In Russ.)]. DOI: 10.14341/DM10167.
- Туманский В. А., Авраменко Ю. Н. Некоторые аспекты морфогенеза диабетической энцефалопатии. *Запорожский медицинский журнал*. 2013;17(4):39–42. [Tumansky V.A., Avramenko Yu.N. Some aspects of morphogenesis of diabetic encephalopathy. *Zaporozhye Medical Journal*. 2013;17(4):39–42. (In Russ.)]. DOI: 10.14739/2310-1210.2013.4.16832.
- Zabala A., Gottsäter A., Lind M., Svensson A.M., Eliasson B., Bertilsson R. et al. Early and long-term prognosis in patients with and without type 2 diabetes after carotid intervention: a Swedish nationwide propensity score matched cohort study. *Cardiovasc. Diabetol.* 2021;20(1):85. DOI: 10.1186/s12933-021-01282-x.
- Hussain M.A., Bin-Ayeeed S.A., Saeed O.Q., Verma S., Al-Omran M. Impact of diabetes on carotid artery revascularization. *J. Vasc. Surg.* 2016;63(4):1099–1107.e4. DOI: 10.1016/j.jvs.2015.12.041.
- Чернявский М. А., Иртюга О. Б., Янишевский С. Н., Алиева А. С., Самочерных К. А., Абрамов К. Б. и др. Российский консенсус по диагностике и лечению пациентов со стенозом сонных артерий. *Российский кардиологический журнал*. 2022;27(11):5284. [Chernyavsky M.A., Irtuga O.B., Yanishevsky S.N., Alieva A.S., Samochernykh K.A., Abramov K.B. et al. Russian consensus statement on the diagnosis and treatment of patients with carotid stenosis. *Russian Journal of Cardiology*. 2022;27(11):5284. (In Russ.)]. DOI: 10.15829/1560-4071-2022-5284.
- Танашян М. М., Скрылев С. И., Антонова К. В., Медведев Р. Б. Каротидная реваскуляризация у больных сахарным диабетом 2 типа. Значение хронической гипергликемии. *Ангиология и сосудистая хирургия*. 2017;23(4):99–105. [Tanashyan M.M., Skrylev S.I., Antonova K.V., Medvedev R.B. Carotid revascularization in type 2 diabetes mellitus. Significance of chronic hyperglycaemia. *Angiology and vascular surgery*. 2017;23(4):99–105. (In Russ.)]. URL: <https://www.angiolsurgery.org/magazine/2017/4/14.htm> (25.04.2023).
- Фокин А. А., Борсух Д. А. Отдаленные исходы каротидной хирургии с позиции мультифокальности атеросклеротического процесса у больных метаболическим синдромом. *Патология кровообращения и кардиохирургия*. 2013;(17)1:55–60. [Fokin A.A., Borsuk D.A. Long-term outcomes of carotid surgery in patients with metabolic disorders and multifocal atherosclerosis. *Patologiya krovoobrashcheniya i kardiokhirurgiya*. 2013;(17)1:55–60. (In Russ.)]. DOI: 10.21688/1681-3472-2013-1-55-60.
- Safri L.S., Lip H.T.Ch., Saripan M.I., Huei T.J., Krishna K., Md Idris M.A. et al. Older age and duration of exposure to type 2 diabetes in selective screening of asymptomatic carotid artery stenosis for primary stroke prevention – A single institution experience. *Prim. Care Diabetes*. 2020;14(4):364–369. DOI: 10.1016/j.pcd.2019.10.001.
- Ануфриев П. Л., Танашян М. М., Гулевская Т. С., Аблякимов Р. Э., Гнедовская Е. В. Особенности атеросклероза церебральных артерий и



- патоморфологии инфарктов головного мозга при сахарном диабете 2-го типа. *Анналы клинической и экспериментальной неврологии*. 2015;9(3):4–9.
- [Anufriev P.L., Tanashyan M.M., Gulevskaya T.S., Ablyakimov R.E., Gnedovskaya E.V. et al. Features of atherosclerosis of the cerebral arteries and pathomorphology of cerebral infarctions in patients with type 2 diabetes mellitus. *Annals of Clinical and Experimental Neurology*. 2015;9(3):4–9. (In Russ.)].
13. Katakami N. Mechanism of development of atherosclerosis and cardiovascular disease in diabetes mellitus. *J. Atheroscler. Thromb.* 2018;25(1):27–39. DOI: 10.5551/jat.RV17014.
14. Буховец И. Л., Максимова А. С., Плотников М. П., Кузнецов М.С., Козлов Б.Н., Ворожцова И.Н. и др. Комплексная ультразвуковая оценка параметров артериального и венозного кровотока у пациентов со стенозом брахиоцефальных артерий до и после операции каротидной эндартерэктомии. *Сибирский журнал клинической и экспериментальной медицины*. 2016;31(3):44–49. [Bukhovets I.L., Maksimova A.S., Plotnikov M.P., Kuznetsov M.S., Kozlov B.N., Vorozhtsova I.N. et al. Quantification of arterial and venous blood flow parameters in patients with carotid atherosclerosis before and after carotid endarterectomy. *The Siberian Journal of Clinical and Experimental Medicine*. 2016;31(3):44–49. (In Russ.)]. DOI: 10.29001/2073-8552-2016-31-3-44-49.
15. Лелюк В.Г., Лелюк С.Э. Ультразвуковая ангиология. М.: Реальное время; 2003:324. [Lelyuk V.G., Lelyuk S.E. Ultrasound angiology. M.: Real'noe vremya; 2003:324. (In Russ.)].
16. Pirri D., Fragiadakis M., Evans P.C. Diabetic atherosclerosis: is there a role for the hypoxia-inducible factors? *Biosci. Rep.* 2020;40(8):BSR20200026. DOI: 10.1042/BSR20200026.
17. Guo Z.N., Shao A., Tong L.S., Sun W., Liu J., Yang Y. The Role of nitric oxide and sympathetic control in cerebral autoregulation in the setting of subarachnoid hemorrhage and traumatic brain injury. *Mol. Neurobiol.* 2016;53(6):3606–3615. DOI: 10.1007/s12035-015-9308-x.
18. Holmgren M., Støverud K.H., Zarrinkoob L., Wåhlin A., Malm J., Eklund A. Middle cerebral artery pressure laterality in patients with symptomatic ICA stenosis. *PLoS One*. 2021;16(1):e0245337. DOI: 10.1371/journal.pone.0245337.
19. Максимова А.С., Бобрикова Е.Э., Буховец И.Л., Плотников М.П., Усов В.Ю. Структура атеросклеротической бляшки как определяющий фактор цереброваскулярной реактивности при стенозирующем атеросклерозе сонных артерий. *Сибирский медицинский журнал*. 2016;31(2):38–43. [Maksimova A.S., Bobrikova E.E., Bukhovets I.L., Plotnikov M.P., Ussov V.Yu. The structure of atherosclerotic plaque as a defining factor of cerebrovascular reactivity in patients with carotid atherosclerosis. *The Siberian Medical Journal*. 2016;31(2):38–43. (In Russ.)]. DOI: 10.29001/2073-8552-2016-31-2-38-43.
20. Головин Д.А., Лелюк С.Э., Лелюк В.Г. Ультразвуковая оценка выраженности диабетической макро- и микроангиопатии у больных сахарным диабетом 2 типа. *Ультразвуковая и функциональная диагностика*. 2016;3:72–81. [Golovin D.A., Lelyuk S.E., Lelyuk V.G. Ultrasound in assessment of diabetic macroangiopathy and microangiopathy in patients with type 2 Diabetes Mellitus. *Ultrasound and Functional Diagnostics*. 2016;3:72–81. (In Russ.)].

## Информация о вкладе авторов

Буховец И.Л. – концепция и дизайн исследования.  
 Буховец И.Л., Кузнецов М.С., Максимова А.С. – сбор и обработка материала.  
 Максимова А.С. – статистическая обработка данных.  
 Буховец И.Л., Усов В.Ю., Максимова А.С. – написание текста.  
 Буховец И.Л., Ворожцова И.Н., Козлов Б.Н., Усов В.Ю. – редактирование.

## Information on author contributions

Bukhovets I.L. – study concept and design.  
 Bukhovets I.L., Kuznetsov M.S., Maksimova A.S. – material collection and processing.  
 Maksimova A.S. – statistical data processing.  
 Bukhovets I.L., Ussov V.Yu., Maksimova A.S. – writing the text.  
 Bukhovets I.L., Vorozhtsova I.N., Kozlov B.N., Ussov V.Yu. – manuscript editing.

## Сведения об авторах

**Буховец Ирина Львовна**, д-р мед. наук, старший научный сотрудник, отделение рентгеновских и томографических методов диагностики, Научно-исследовательский институт кардиологии, Томский национальный исследовательский медицинский центр Российской академии наук. ORCID: 0000-0001-9466-6097.  
 E-mail: [biil@cardio-tomsk.ru](mailto:biil@cardio-tomsk.ru).

**Максимова Александра Сергеевна**, канд. мед. наук, научный сотрудник, отделение рентгеновских и томографических методов диагностики, Научно-исследовательский институт кардиологии, Томский национальный исследовательский медицинский центр Российской академии наук. ORCID 0000-0002-4871-3283.  
 E-mail: [asmaksimova@yandex.ru](mailto:asmaksimova@yandex.ru).

**Козлов Борис Николаевич**, д-р мед. наук, заведующий отделением сердечно-сосудистой хирургии, Научно-исследовательский институт кардиологии, Томский национальный исследовательский медицинский центр Российской академии наук. ORCID 0000-0002-0217-7737.  
 E-mail: [bnkozlov@yandex.ru](mailto:bnkozlov@yandex.ru).

**Кузнецов Михаил Сергеевич**, канд. мед. наук, старший научный сотрудник, отделение сердечно-сосудистой хирургии, Научно-исследовательский институт кардиологии, Томский национальный исследовательский медицинский центр Российской академии наук. ORCID 0000-0002-1975-043X.  
 E-mail: [kms@cardio-tomsk.ru](mailto:kms@cardio-tomsk.ru).

**Ворожцова Ирина Николаевна**, д-р мед. наук, ведущий научный сотрудник, лаборатория ультразвуковых и функциональных методов исследования, Научно-исследовательский институт кардиологии, Томский

## Information about the authors

**Irina L. Bukhovets**, Dr. Sci. (Med.), Senior Research Scientist, Department of Radiology and Tomography, Cardiology Research Institute, Tomsk National Research Medical Center, Russian Academy of Sciences, Tomsk, Russia. ORCID 0000-0001-9466-6097.  
 Email: [biil@cardio-tomsk.ru](mailto:biil@cardio-tomsk.ru).

**Aleksandra S. Maksimova**, M.D., Cand. Sci. (Med.), Research Scientist, Department of Radiology and Tomography, Cardiology Research Institute, Tomsk National Research Medical Center, Russian Academy of Sciences, Tomsk, Russia. ORCID 0000-0002-4871-3283.  
 E-mail: [asmaksimova@yandex.ru](mailto:asmaksimova@yandex.ru).

**Boris N. Kozlov**, Dr. Sci. (Med.), Head of Department of Cardiovascular Surgery, Cardiology Research Institute, Tomsk National Research Medical Center, Russian Academy of Sciences, Tomsk, Russia. ORCID 0000-0002-0217-7737.  
 E-mail: [bnkozlov@yandex.ru](mailto:bnkozlov@yandex.ru).

**Mikhail S. Kuznetsov**, Cand. Sci. (Med.), Senior Research Scientist, Department of Cardiovascular Surgery, Cardiology Research Institute, Tomsk National Research Medical Center, Russian Academy of Sciences, Tomsk, Russia. ORCID 0000-0002-1975-043X.  
 E-mail: [kms@cardio-tomsk.ru](mailto:kms@cardio-tomsk.ru).

**Irina N. Vorozhtsova**, Dr. Sci. (Med.), Leading Research Scientist, Laboratory of Ultrasound and Functional Methods of Examination, Cardiology Research Institute, Tomsk National Research Medical Center, Russian Academy of Sciences, Tomsk, Russia. ORCID 0000-0002-4706-893X.  
 Email: [vin@cardio-tomsk.ru](mailto:vin@cardio-tomsk.ru).



национальный исследовательский медицинский центр Российской академии наук. ORCID 0000-0002-4706-893X.

Email: [vin@cardio-tomsk.ru](mailto:vin@cardio-tomsk.ru).

**Усов Владимир Юрьевич**, д-р мед. наук, профессор, ведущий научный сотрудник, отделение рентгеновских и томографических методов диагностики, Научно-исследовательский институт кардиологии, Томский национальный исследовательский медицинский центр Российской академии наук. ORCID 0000-0002-7352-6068.


Email: [ussov1962@yandex.ru](mailto:ussov1962@yandex.ru).

**Wladimir Yu. Ussov**, Dr. Sci. (Med.), Professor, Leading Research Scientist, Department of Radiology and Tomography, Cardiology Research Institute, Tomsk National Research Medical Center, Russian Academy of Sciences, Tomsk, Russia. ORCID 0000-0002-7352-6068.

Email: [ussov1962@yandex.ru](mailto:ussov1962@yandex.ru).

 **Irina L. Bukhovets**, e-mail: [bil@cardio-tomsk.ru](mailto:bil@cardio-tomsk.ru).

Received March 22, 2023

 **Буховец Ирина Львовна**, e-mail: [bil@cardio-tomsk.ru](mailto:bil@cardio-tomsk.ru). Тел.: 8 (960) 970-09-51.

Поступила 22.03.2023