

Напряжение сдвига стенки и индекс колебания после каротидной эндартерэктомии в послеоперационном периоде

В.А. Сандриков, Е.Ф. Дутикова, А.В. Гавриленко, Т.Ю. Кулагина, О.А. Жигулина, Ю.Р. Камалов, К.И. Зобов
ГНЦ РФ ФГБНУ «Российский научный центр хирургии им. академика Б.В. Петровского», Москва, Россия

РЕЗЮМЕ

Цель. Оценить изменения напряжения сдвига стенки внутренней сонной артерии (ВСА) после каротидной эндартерэктомии (КЭАЭ) в отдаленном послеоперационном периоде. **Материал и методы исследования.** С патологией ВСА до операции обследовано 26 пациентов ($65 \pm 2,9$ года), в среднем степень стеноза составляла $80,4 \pm 3,3\%$ ($64-95\%$). По эхогенности распределение бляшек было следующим: преимущественно гипэхогенные – 12, гиперэхогенные – 10, изоэхогенные – 4. После операции каротидной эндартерэктомии (КЭАЭ) в госпитальном периоде удовлетворительная эхолокация позволила провести исследование у 19 пациентов ($61,6 \pm 2,7$ года). В отдаленном периоде через 6–14 месяцев обследовано 12 пациентов ($63,1 \pm 2,0$ года). Исследование проводилось на ультразвуковом сканере Mindray Resona 7 (Китай), линейным датчиком (2,5–9 МГц) в режиме V-flow. Оценивали систолическую скорость кровотока (Vs), напряжение сдвига стенки (WSS), турбулентность кровотока по векторному анализу до и после стеноза. Изменение направления вектора WSS в течение сердечного цикла описывали с помощью индекса колебания (Oscillatory Shear Index, OSI). Был рассчитан внутригрупповой коэффициент корреляции при измерении напряжения и сдвига стенки. **Результаты.** До операции для стеноза ВСА характерно изменение WSS в различных участках артерии и повышенная турбулентность кровотока. Адекватность операции КЭАЭ оценивали по динамике изменения скорости кровотока и отношению напряжения сдвига стенки к проксимальному и дистальному руслу. В отдаленном послеоперационном периоде направление и скорости векторов потока приближаются к нормальным значениям, что служит одним из оценочных гемодинамических показателей адекватности хирургической коррекции стеноза ВСА. **Заключение.** Критериями адекватной коррекции считали нормализацию внутрисосудистых потоков крови, напряжения сдвига стенки и индекса колебания, снижения турбулентности кровотока. Регистрация напряжения сдвига стенки с помощью V-flow у пациентов с цереброваскулярными заболеваниями представляет собой новое направление для оценки результатов хирургического лечения.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: скорость кровотока, напряжение сдвига стенки, индекс колебания.

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Wall shear stress and oscillatory shear index after carotid endarterectomy in the postoperative period

V.A. Sandrikov, A.V. Gavrilenko, E.F. Dufikova, T.Y. Kulagina, O.A. Zhigulina, Y.R. Kamalov, K.I. Zobov

Federal State Budgetary Scientific Institution Petrovsky National Research Centre of Surgery (FSBSI Petrovsky NRCS NCC 1)
Moscow, Russia

SUMMARY

Objective. To evaluate changes in the shear stress of the internal carotid artery (ICA) wall after carotid endarterectomy (CEAE) in the remote postoperative period. **Material and methods of the study.** 26 patients (65 ± 2.9 years old) with ICA pathology were examined before surgery, with an average degree of stenosis of $80.4 \pm 3.3\%$ ($64-95\%$). According to echogenicity, the distribution of plaques was as follows: predominantly hypoechoic – 12, hyperechoic – 10, and isoechoic – 4. After carotid endarterectomy (CEAE) in the hospital period, satisfactory echolocation allowed for the examination of 19 patients (61.6 ± 2.7 years). In the long-term period, 12 patients (63.1 ± 2.0 years) were examined 6–14 months later. The study was conducted using a Mindray Resona 7 ultrasound scanner (China) and a linear sensor (2.5–9 MHz) in V-flow mode. Systolic blood flow velocity (Vs), wall shear stress (WSS), and blood flow turbulence were assessed using vector analysis before and after stenosis. The change in the direction of the WSS vector during the cardiac cycle was described using the Oscillatory Shear Index (OSI). The intra-group correlation coefficient was calculated for the measurement of wall stress and shear. **Results.** Before surgery, ICA stenosis is characterized by changes in WSS in different parts of the artery and increased blood flow turbulence. The adequacy of the CEAE operation was assessed based on the dynamics of changes in blood flow velocity and the ratio of wall shear stress to the proximal and distal vessels. In the long-term postoperative period, the direction and velocity of the flow vectors approach normal values, which serves as one of the hemodynamic indicators of the adequacy of surgical correction of ICA stenosis. **Conclusion.** The criteria for adequate correction were the normalization of intravascular blood flow, wall shear stress, and oscillation index, as well as the reduction of blood flow turbulence. The registration of wall shear stress using V-flow in patients with cerebrovascular diseases represents a new approach for evaluating the results of surgical treatment.

KEYWORDS: blood flow rate, wall shear stress, oscillation shear index.

CONFLICT OF INTEREST. The authors declare that they have no conflicts of interest.

Введение

Методика оценки напряжения сдвига стенки и индекса колебания в настоящее время востребована в диагностике для определения степени тяжести поражения и разработки стратегии лечения стеноза внутренней сонной

артерии (ВСА) [1]. Характеристики атеросклеротической бляшки (АСБ), такие как локализация, степень выраженности, протяженность, кальцификация и ее неоднородность, напрямую влияют на характер нарушения кровотока в артерии и ее дистальном русле, создавая трудности

количественной оценки гемодинамической значимости поражения и уязвимости АСБ с помощью ультразвуковых методов. Некоторые исследования опирались на теорию низкого напряжения сдвига стенки при разработке диагностики и лечения сердечно-сосудистых заболеваний [2, 3]. Теории слабого/колебательного сдвига сосудистой стенки обсуждаются в литературе [4, 7].

Для улучшения нашего понимания необходим анализ показателей кровотока и оценка применения метода векторной визуализации кровотока (V-flow) для измерения напряжения сдвига в сонных артериях у пациентов после операции.

Материал и методы исследования

С патологией ВСА до операции обследовано 26 пациентов ($65 \pm 2,9$ года), в среднем степень стеноза составляла $80,4 \pm 3,3$ % ($64-95$ %). По экзогенности распределение бляшек было следующим: преимущественно гипохолерогенные – 12, гиперэхогенные – 10, изоэхогенные – 4. После операции каротидной эндартерэктомии (КЭАЭ) в госпитальном периоде удовлетворительная эхолокация позволила провести исследование у 19 пациентов ($61,6 \pm 2,7$ года). В отдаленном периоде через 6–14 месяцев обследовано 12 пациентов ($63,1 \pm 2,0$ года). В раннем послеоперационном периоде ни у кого из пациентов не наблюдали нарушения мозгового кровообращения. Настоящее исследование было одобрено Комитетом по этике «РНЦХ имени академика Б.В. Петровского».

Ультразвуковые исследования ВСА проводили на ультразвуковой диагностической системе премиум класса Mindray Resona 7 (Shenzhen Mindray Bio-Medical Electronics Co, Ltd, Шэньчжэнь, Китай), оснащенной линейным датчиком L14-3WU (2,5–9 МГц) с обновленным программным обеспечением в режиме V-flow. В состоянии покоя у всех исследуемых измеряли артериальное давление. При ультразвуковом исследовании до операции и в отдаленном послеоперационном периоде в режи-

ме цветового доплеровского картирования (ЦДК) ВСА определяли просвет артерии, систолическую скорость кровотока (V_s) до и после стеноза, напряжение сдвига стенки (WSS). WSS анализировали во ВСА до и после стеноза в паскалях (Па, Pa) и индекс колебания (Oscillatory Shear Index, OSI) автоматически в специализированном программном модуле прибора, а также рассчитывали направление и турбулентность кровотока. Синхронно записывали электрокардиограмму. Измерения проводились в бифуркации общей сонной артерии (ОСА), в устье ВСА и дистальнее стенотического поражения, что позволило рассчитать локальные скорости потока и измерить напряжение сдвига стенки. Все исследования выполнялись двумя экспертами независимо друг от друга. Результаты были сопоставимы.

Статистический анализ

Для сравнения средних значений максимального WSS, среднего WSS, OSI во внутренней сонной артерии со средними значениями этих параметров использовался t-критерий Стьюдента. Сравнение средних значений максимального и среднего WSS, OSI проводилось до и после операции. Все статистические анализы выполнены с использованием Statistica 12 и JMP-5 (США). Значение $P < 0,05$ считалось статистически достоверным. Результаты представлены на графиках, рисунках и таблицах.

Результаты исследования

Тактика лечения пациентов со стенозирующим поражением ВСА зависит от ряда критериев: уязвимости атеросклеротической бляшки, ее объема и степени стеноза. Кроме того, существует связь между низкими и колебательными напряжениями сдвига в стенке и прогрессированием атеросклеротической бляшки [1, 2]. Хирургическая коррекция стеноза сонных артерий является профилактикой инсульта и объективно улучшает прогноз (табл. 1).

Таблица 1
Клинические и ультразвуковые характеристики у пациентов со стенозом внутренней сонной артерии до и после операции

Параметры	До операции 1	Ранний п/о период 2	Отдаленный п/о период 3	P_{1-2}	P_{1-3}	P_{2-3}
Возраст, лет	$65 \pm 2,9$	$61,6 \pm 2,7$	$63,1 \pm 2$	нет	нет	нет
САД, мм рт. ст.	133 ± 11	139 ± 14	133 ± 19	нет	нет	нет
ЧСС, сок./мин.	68 ± 4	73 ± 5	76 ± 7	$>0,4$	$>0,5$	$>0,9$
Диаметр ВСА на уровне стеноза, мм	$8,2 \pm 1,1$	$7,1 \pm 2$	$6,1 \pm 1,7$	$<0,05$	$<0,05$	$<0,05$
Толщина стенки, мм	$1,5 \pm 0,1$	$1,2 \pm 0,1$	$1,35 \pm 0,4$	$<0,05$	$>0,05$	$<0,05$
V_{s1} до стеноза, см/с	55 ± 12	43 ± 10	41 ± 7	$<0,04$	$<0,05$	$>0,06$
V_{s2} после стеноза, см/с	$74 \pm 4,3$	59 ± 5	87 ± 6	$<0,02$	$<0,05$	$<0,02$
ΔV_s , см/с	$19 \pm 4,1$	16 ± 2	46 ± 8	$<0,05$	$<0,002$	$<0,001$
WSS max до стеноза, Па	$3 \pm 0,5$	$2,7 \pm 0,8$	$3,9 \pm 0,4$	$>0,05$	$<0,05$	$<0,05$
WSS max, на уровне стеноза, Па	$3,2 \pm 0,8$	$2,4 \pm 0,3$	$4,1 \pm 1$	$<0,05$	$<0,04$	$<0,03$
WSS mean, до стеноза, Па	$0,55 \pm 0,1$	$0,61 \pm 0,3$	$0,7 \pm 0,2$	$>0,05$	$<0,05$	$<0,05$
WSS mean, после стеноза, Па	$0,76 \pm 0,4$	$0,64 \pm 0,7$	$0,48 \pm 0,5$	$<0,05$	$<0,002$	$<0,003$
OSI ₁ до стеноза, отн. ед.	$0,12 \pm 0,09$	$0,13 \pm 0,07$	$0,01 \pm 0,01$	$>0,3$	$<0,001$	$<0,001$
OSI ₂ после стеноза, отн. ед.	$0,19 \pm 0,08$	$0,18 \pm 0,05$	$0,04 \pm 0,02$	$>0,6$	$<0,001$	$<0,002$
Турбулентность кровотока до стеноза, %	$10,4 \pm 2$	$7,4 \pm 0,9$	$5,4 \pm 0,9$	$<0,03$	$<0,002$	$<0,01$
Турбулентность кровотока после стеноза, %	$42,3 \pm 3,1$	$21,0 \pm 4,0$	$12,0 \pm 3,3$	$<0,002$	$<0,004$	$<0,02$

Примечание: САД – систолическое артериальное давление; ЧСС – частота сердечных сокращений; ВСА – внутренняя сонная артерия; V_{s1} – систолическая скорость кровотока до стеноза; V_{s2} – систолическая скорость кровотока после стеноза; ΔV_s – градиент систолической скорости кровотока до и после стеноза; WSSmax – максимальное напряжение сдвига стенки; WSSmean – среднее напряжение сдвига стенки; OSI – индекс колебания.

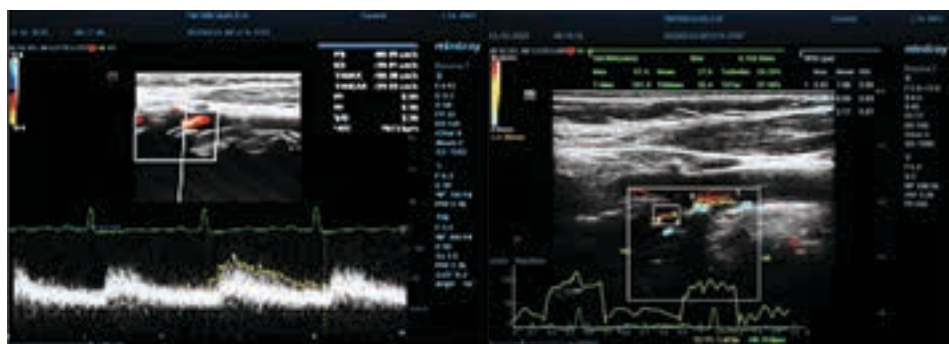
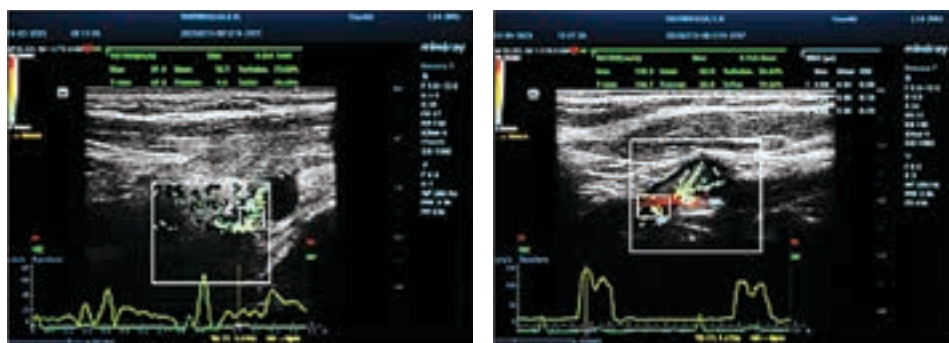


Рисунок 1. Векторная визуализация кровотока с высокой частотой кадров при стенозе внутренней сонной артерии на дооперационном этапе. В области стеноза цвет векторов красный, что характерно для турбулентного кровотока. В зонах 1–3 автоматически выполняется расчет напряжения сдвига стенки (WSS)



а

б

Рисунок 2. Векторная визуализация кровотока после операции каротидной эндартерэктомии в госпитальном (а) и отдаленном (б) периоде. Вектора зеленого и синего цвета характеризуют физиологическую турбулентность или ламинарный кровоток

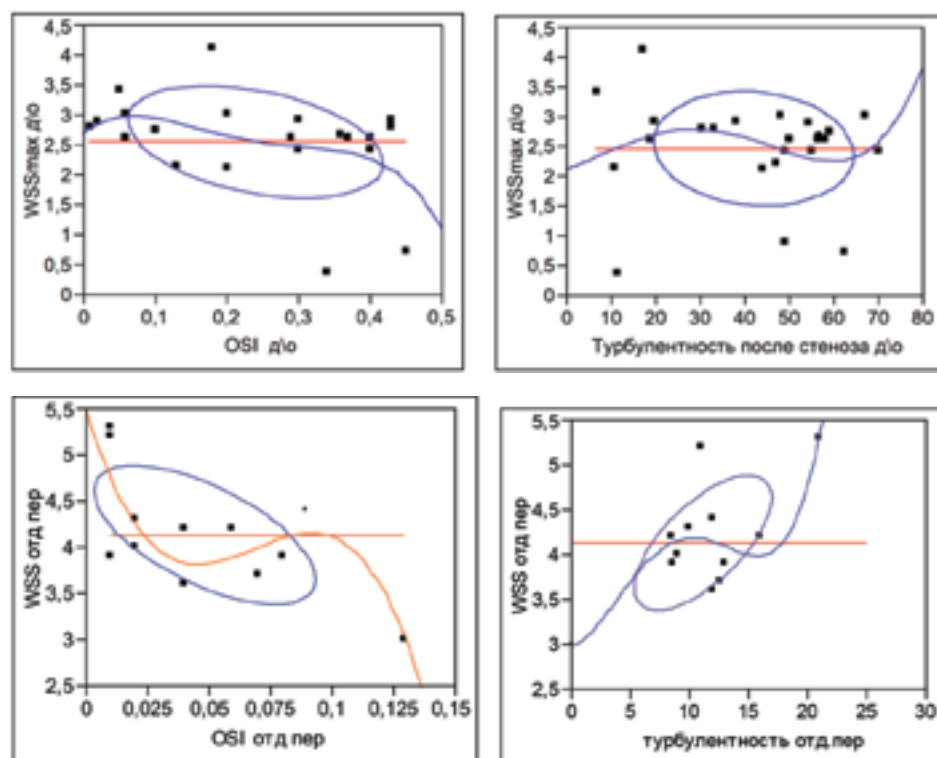


Рисунок 3. Взаимосвязи напряжения сдвига стенки, индекса колебания и турбулентности кровотока во внутренней сонной артерии до операции (1) и в отдаленном послеоперационном периоде (2)

Для оценки результатов хирургического лечения исследовали векторы сдвига стенки ВСА в трех зонах у пациентов со стенозом и удовлетворительной визуализацией просвета сосуда в области стеноза. Рассчитывали напряжение стенки и скорости векторов потока и индекса напряжения после операции в отдаленном периоде (рис. 1). Такие измерения являются простым и надежным диагностическим способом по оценке результатов операции, в том числе и в отдаленном периоде [5, 6].

Как поперечное, так продольное направление сдвига стенки показали достаточно высокую информативность в оценке результатов хирургического лечения. Напряжение сдвига стенки в отдаленном периоде возрастает (20–30%) практически до нормальных значений, а турбулентность кровотока снижается практически в 2 раза до стеноза и в 3 раза после стеноза (табл. 1, рис. 2).

При векторном анализе отмечено, как цветные вектора характеризуют характер кровотока в артерии (см. рис. 26). Полученные результаты по напряжению сдвига сосудистой стенки становятся показателями для оценки результатов операции с выявлением участков с наиболее проблемными уровнями сосудистого русла (рис. 3).

В динамике после эндартерэктомии из ВСА отмечена достоверная разница напряжения стенки артерии, индекса колебания и турбулентности кровотока. Так, напряжение стенки после операции увеличивается практически на 30%, индекс колебания и турбулентность кровотока снижаются в 4 раза. Такая динамика характеризует адекватность восстановления кровотока по ВСА.

Обсуждение полученных результатов

Настоящее исследование было направлено на оценку результатов КЭАЭ по напряжению сдвига стенки после операции, включая отдаленный период. Новая доплеровская технология, основанная на векторном отображении потока (Vector Flow Imaging) позволяет анализировать сложные высокоскоростные потоки, представленные в виде векторов различного направления (кодировка цветом) и длины [11]. Исследования кровотока – метод оценки и поиск взаимосвязи между динамикой кровотока, напряжением сдвига стенки и прогрессированием АСБ в послеоперационном динамическом наблюдении. Развитие технологий приводят к внедрению в клиническую практику современных методов визуализации и постобработки изображений с получением цифрового детального профиля кровотока, включая зоны повышенной турбулентности. Неравномерность кровотока в измененном атеросклеротическом процессе сосуда приводит к изменениям сдвиговой деформации стенки, возникновению турбулентности, рассеивания [8] и индекса колебания [9, 10, 12]. Разумеется, у обследованных пациентов мы наблюдали АСБ, которые различались по своей структуре, представляли высокий риск развития клинической симптоматики. Картина гемодинамики, а также структурные и функциональные свойства стенок сосудов могут быть различными в каждом конкретном случае. Так, нами было отмечено, что преимущественно гипозоногенные АСБ вызывают более выраженную турбулентность кровотока с пониженным напряжением сдвига стенки. При этом скорости кровотока при кальцинированной АСБ отличались, что свидетельствовало о различных уязвимых областях в каждой из них.

Изменения WSS, OSI и турбулентность кровотока достаточно объективно отражают низкие и высокие колебания, что согласуется с характеристиками и распространенностью атеросклеротического поражения до и после операции.

Заключение

Напряжение сдвига – это характеристика силы, которая связана с кровотоком, что отражает как интенсивность, так и направление кровотока, и состояние артериальной стенки. Индекс колебания (OSI) количественно определяет изменение направления вектора WSS во время сердечного цикла. Снижение турбулентности кровотока и осцилляторного сдвига указывает на благоприятный прогноз после операции. Повышенные значения OSI связаны с нарушением кровотока, что характерно для атеросклероза.

Список литературы / References

1. Yiemeng Hoi, Bruce A Wasserman, Yuanyuan J Xie, et al. // Characterization of volumetric flow rate waveforms at the carotid bifurcations of older adults. *Physiological Measurement*, 31(3):291–302, March 2010. ISSN 0967-3334, 1361-6579. doi: 10.1088/0967-3334/31/3/002.
2. Qiu YJ, Cheng J, Zhang Q, Yang DH, Zuo D, Mao F, Liu LX, Dong Y, Cao SQ, Wang WP, Qiu YJ, et al. // Clinical Application of High-Frame-Rate Vector Flow Imaging in Evaluation of Carotid Atherosclerotic Stenosis. *Diagnostics (Basel)*. 2023. 31 January; 13(3):519. doi: 10.3390/diagnostics13030519.PMID: 36766624.
3. Meiyang Gao Haining Zheng Rui Zhao Rui Zhao. Wall shear stress and oscillatory shear index measured using ultrasound vector flow imaging in the femoro popliteal artery of adults without peripheral artery disease // *Vascular Surgery Volume 12* – 2025. <https://doi.org/10.3389/fsurg.2025.1597407>.
4. Veronique Peiffer, Spencer J. Sherwin, and Peter D. Weinberg. // Does low and oscillatory wall shear stress correlate spatially with early atherosclerosis? A systematic review. *Cardiovascular Research*, 2013.99(2):242–250. ISSN 1755-3245, 0008-6363. doi:10.1093/cvr/cvt044. URL: <https://academic.oup.com/cardiiovascs/article-lookup/doi/10.1093/cvr/cvt044>.
5. Lenard Z, Fulop D, Visontai Z, Jokkel G, Reneman R, Kollai M. // Static versus dynamic distensibility of the carotid artery in humans. *J.Vasc.Res.*2000;37(2):103–111.
6. Ayala Hoogendoorn, Annette M. Kok, Eline M. J. Hartman, et al. // Multidirectional wall shear stress promotes advanced coronary plaque development: comparing five shear stress metrics. *Cardiovascular Research*, 116(6):1136–1146, May 2020. ISSN 1755-3245. doi:10.1093/cvr/cvz212.
7. Reneman, R.S., T. Arts, and A.P.G. Hoeks. Wall shear stress – an important determinant of endothelial cell function and structure – in the arterial system in vivo: discrepancies with theory. *J. Vasc. Res.* 43(3):251–269, 2006. <https://doi.org/10.1159/000091648>.
8. Wong, E. Y., H. N. Nikolov, R.N. Rankin, D. W. Holdsworth, and T. L. Poepping. Evaluation of distal turbulence intensity for the detection of both plaque ulceration and stenosis grade in the carotid bifurcation using clinical Doppler ultrasound. <https://doi.org/10.1007/s00330-012-2741>.
9. Chen J, Zhang L, Gu S, Jia C, Wu R. Quantitative evaluation using carotid ultrasonography-based high-frame-rate vector flow imaging in patients with low carotid stenosis. *Br J Radiol*. 2024 Aug 1;97(1160):1476–1482. doi: 10.1093/bjrt/qae115.PMID: 38885374.
10. David E. Martinelli O, Pacini P, Di Serafino M, Huang P, Dolcetti V et al. New Technologies in the Assessment of Carotid Stenosis: Beyond the Color-Doppler Ultrasound-High Frame Rate Vector-Flow and 3D Arterial Analysis Ultrasound. *Diagnostics (Basel)*. 2023 Apr 19;13(8):1478. doi: 10.3390/diagnostics13081478.PMID: 37189578.
11. Zhang X, Ding H, Ji X, Chen L, Huang P, et al. Predicting vulnerable carotid plaques by detecting wall shear stress based on ultrasonic vector flow imaging. *Vasc Surg*. 2024 Nov;80(5):1475–1486.e1. doi: 10.1016/j.jvs.2024.06.024. Epub 2024 Jun 24. PMID: 38925348.
12. Zhou M, Yu Y, Chen R, Liu X, Hu Y, Ma Z, et al. Wall shear stress and its role in atherosclerosis. *Front Cardiovasc Med*. (2023) 10:1083547. doi: 10.3389/fcvm.2023.1083547.

Статья поступила / Received 3.03.2026

Получена после рецензирования / Revised 10.03.2026

Принята в печать / Accepted 10.03.2026

Информация об авторах

Сандриков Валерий Александрович – д.м.н., проф., академик РАН, руководитель отдела клинической физиологии, инструментальной и лучевой диагностики НКЦ № 1
E-mail: sandrikov@med.ru. ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1535-5982>

Гавриленко Александр Васильевич – д.м.н., проф., академик РАН, заведующий отделением хирургии сосудов научно-клинического центра № 1
E-mail: a.v.gavrilenko@mail.ru. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7267-7369>

Дутикова Елена Федоровна – к.м.н., ведущий научный сотрудник, лаборатории электрофизиологии и нагрузочных тестов отдела клинической физиологии, инструментальной и лучевой диагностики НКЦ № 1
E-mail: dutikova@inbox.ru. <https://orcid.org/0000-0002-4840-0607>

Кулагина Татьяна Юрьевна – д.м.н., зав. лаб. электрофизиологии и нагрузочных тестов отдела клинической физиологии, инструментальной и лучевой диагностики НКЦ № 1
E-mail: ol.bulkina2016@yandex.ru. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8118-2552>

Жигулина Ольга Андреевна – младший научный сотрудник, врач функциональной диагностики лаборатории электрофизиологии и нагрузочных тестов отдела клинической физиологии, инструментальной и лучевой диагностики НКЦ № 1
E-mail: ol.bulkina2016@yandex.ru. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8118-2552>

Камалов Юлий Рафаэлевич – д.м.н., зав. лаб. ультразвуковой диагностики отдела клинической физиологии, инструментальной и лучевой диагностики НКЦ № 1
E-mail: kamalov53@yandex.ru. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6202-8506>

Зобов Кирил Игоревич – младший научный сотрудник отделения хирургии сосудов НКЦ № 1
E-mail: kirill-zobov@mail.ru. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-959-4976>

ГНЦ РФ ФГБНУ «Российский научный центр хирургии им. академика Б.В. Петровского», Москва, Россия

Контактная информация:

Кулагина Татьяна Юрьевна. E-mail: takula@list.ru

Для цитирования: Сандриков В.А., Дутикова Е.Ф., Гавриленко А.В., Кулагина Т.Ю., Жигулина О.А., Камалов Ю.Р., Зобов К.И. Напряжение сдвига стенки и индекс колебания после каротидной эндартерэктомии в послеоперационном периоде. Медицинский алфавит. 2026;(6):7–10. <https://doi.org/10.33667/2078-5631-2026-6-7-10>

Author information

Sandrikov Valery Alexandrovich – MD, Professor, Academician of the Russian Academy of Sciences, Head of Clinical Physiology Department and Clinical Center No.1
E-mail: sandrikov@med.ru. ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1535-5982>

Gavrilenko Alexander Vasilyevich – Academician of the Russian Academy of Sciences, MD, Professor, Head of the Department of Vascular Surgery of the Scientific and Clinical Center No. 1
E-mail: a.v.gavrilenko@mail.ru. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7267-7369>

Dutikova Elena Fedorovna – PHD, Leading Researcher of Laboratory of Electrophysiology and Stress Tests of the Department of Clinical Physiology, Instrumental and Radiation Diagnostics of the Scientific and Clinical Center No. 1
E-mail: dutikova@inbox.ru. <https://orcid.org/0000-0002-4840-0607>

Kulagina Tatiana Yurievna – MD, Head of the Laboratory of Electrophysiology and Stress Tests of the Department of Clinical Physiology, Instrumental and Radiation Diagnostics of the Scientific and Clinical Center No. 1
E-mail: takula@list.ru. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8118-2552>

Zhigulina Olga Andreevna – junior research assistant, doctor of functional diagnostics of the Laboratory of Electrophysiology and Stress Tests of the Department of Clinical Physiology, Instrumental and Radiation Diagnostics of the Scientific and Clinical Center No.1
E-mail: ol.bulkina2016@yandex.ru. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8118-2552>

Kamalov Yuliy Rafaelevich – MD, Head of the Ultrasound Laboratory of the Department of Clinical Physiology, Instrumental and Radiation Diagnostics of the Scientific and Clinical Center No. 1
E-mail: kamalov53@yandex.ru. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6202-8506>

Zobov Kiril Igorevich – Junior Researcher at the Department of Vascular Surgery of the Clinical Center No. 1
E-mail: kirill-zobov@mail.ru. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-959-4976>

Federal State Budgetary Scientific Institution Petrovsky National Research Centre of Surgery (FSBSI Petrovsky NRCS NCC1) Moscow, Russia

Contact information

Kulagina Tatiana Yurievna. E-mail: takula@list.ru

For citation: Sandrikov V.A., Gavrilenko A.V., Dutikova E.F., Kulagina T.Y., Zhigulina O.A., Kamalov Y.R., Zobov K.I. Wall shear stress and oscillatory shear index after carotid endarterectomy in the postoperative period. Medical alphabet. 2026;(6):7–10. <https://doi.org/10.33667/2078-5631-2026-6-7-10>

