



# УЛЬТРАЗВУКОВАЯ ДОППЛЕРОГРАФИЯ ВНУТРЕННЕЙ СОННОЙ АРТЕРИИ: СОВРЕМЕННЫЕ ПОДХОДЫ К СТРУКТУРНО- ГЕМОДИНАМИЧЕСКОЙ ОЦЕНКЕ У ПАЦИЕНТОВ С СОСУДИСТЫМИ ФАКТОРАМИ РИСКА

*Муслимбек Эсоналиев<sup>1\*</sup>, Азизбек Зулунов<sup>2</sup>,  
Зарнигор Мадумарова<sup>3</sup>, Нодирбек Якубов<sup>4</sup>*

<sup>1\*</sup> Магистрант кафедры Медицинской радиологии Андижанского государственного медицинского института, 170127, г. Андижан, Узбекистан.

[muslimbekdoktor@gmail.com](mailto:muslimbekdoktor@gmail.com)

<sup>2</sup> Научный руководитель, PhD кафедры Медицинской радиологии Андижанского государственного медицинского института, 170127, г. Андижан, Узбекистан.

<sup>3</sup> Кандидат медицинских наук, PhD, Заведующий кафедры Медицинской радиологии Андижанского государственного медицинского института, 170127, г. Андижан, Узбекистан.

<sup>4</sup> Научный модератор, PhD кафедры Медицинской радиологии Андижанского государственного медицинского института, 170127, г. Андижан, Узбекистан.

## Введение

Ультразвуковая допплерография (УЗДГ) внутренней сонной артерии (ВСА) остается ключевым методом неинвазивной визуализации, обеспечивающим всестороннюю оценку структурных и функциональных параметров экстракраниальных сосудов у пациентов с факторами сердечно-сосудистого риска. Современные диагностические подходы смещаются в сторону мультипараметрической оценки, включающей анализ толщины комплекса интима–медиа (СИМТ), морфологии атеросклеротических бляшек,



скоростных характеристик кровотока (PSV, EDV, RI, PI), а также компенсаторных изменений кровообращения.

Исследования последних лет подтверждают, что ранняя визуализация субклинического атеросклероза и оценка гемодинамических последствий стенозов ВСА позволяют существенно повысить точность стратификации сосудистого риска и оптимизировать тактику ведения пациентов [1–5]. Особое значение приобретают параметры функциональной адаптации сосудов, включая объемный кровоток и компенсаторное перераспределение перфузии, что может снижать риск ишемических событий даже при выраженному стенозе [6].

На Рисунке 1 визуализирован участок бифуркации ОСА и дальнейшее разделение на ВСА и НСА. В проекции начального сегмента ВСА показана атеросклеротическая бляшка с образованием гемодинамически значимого стеноза. Указаны ключевые анатомические ориентиры: зона бифуркации, локализация бляшки и участок стеноза. Диаграмма отражает основные морфологические зоны, подлежащие оценке при ультразвуковой допплерографии.

Дополнительный вклад в развитие области внесли новые диагностические индексы, такие как максимальное систолическое ускорение (ACCmax) [7], расширенные гемодинамические показатели [4,5,9] и инновационные методы визуализации — от мульти-VENC 4D Flow MRI до цифровых «сосудистых двойников» [12,20]. Современные международные рекомендации подчеркивают необходимость стандартизации протоколов

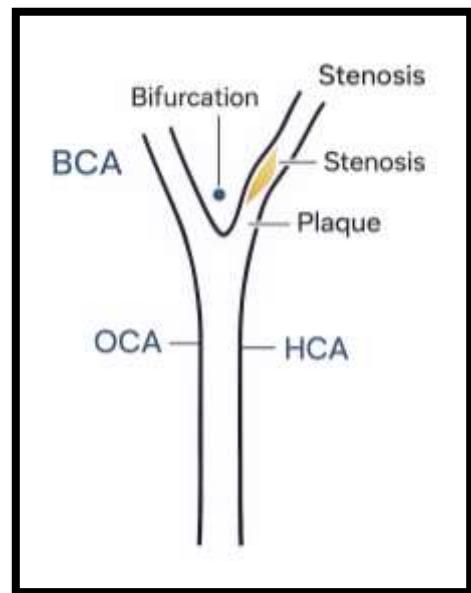


Рис. 1: Бифуркация общей сонной артерии с формированием внутренней (ВСА) и наружной (НСА) сонных артерий.



исследования и комплексного анализа морфометрии и гемодинамики ВСА [1,11].

### **Материалы и методы**

В исследование включены 20 пациентов различного возраста и пола, которым проведено комплексное ультразвуковое обследование внутренней сонной артерии с использованием аппаратов экспертного класса, оснащённых режимами цветового допплеровского картирования (ЦДК) и спектрального анализа кровотока. Оценивались общая, наружная и внутренняя сонные артерии на разных уровнях — от бифуркации до сифона ВСА.

Фиксировались следующие показатели: пиковая систолическая скорость (PSV), конечная диастолическая скорость (EDV), индекс резистентности (RI), пульсационный индекс (PI), наличие и характеристики атеросклеротических бляшек (гомогенность, кальциноз, изъязвление), толщины комплекса интима–медиа. Данные сопоставлялись с факторами риска — артериальной гипертензией, сахарным диабетом, дислипидемией, курением, возрастом и полом.

### **Результаты**

У 45% обследованных выявлены стенозы ВСА различной степени выраженности (30–70%). У 10% пациентов диагностирована полная окклюзия ВСА. Атеросклеротические бляшки различного морфотипа обнаружены у 60% пациентов; у части из них отмечались признаки турбулентного кровотока.

Выявлена прямая корреляция между толщиной комплекса интима–медиа и скоростными характеристиками кровотока, подтверждающая взаимосвязь структурных изменений сосудистой стенки с гемодинамическими нарушениями.

Допплерографические показатели позволили установить ранние признаки атеросклеротического поражения и определить гемодинамическую



значимость выявленных стенозов, что критично для профилактики ишемических инсультов и других цереброваскулярных событий.

### Обсуждение

Полученные результаты подтверждают высокую информативность УЗДГ ВСА в диагностике ранних стадий атеросклероза и в оценке функционального состояния экстракраниальных сосудов. Современные исследования демонстрируют, что включение мультипараметрического анализа (морфология бляшек, PSV/EDV, RI/PI, объемный кровоток, ACCmax) повышает как диагностическую, так и прогностическую точность метода [1–9].

Наличие уязвимых бляшек, турбулентного кровотока и признаков нестабильности, включая каротидную веб-болезнь, требует более тщательного мониторинга и может служить показанием к раннему вмешательству [10,11].

Совмещённая оценка структурных и функциональных параметров позволяет индивидуализировать тактику лечения — от консервативной терапии до хирургических методов, таких как эндартерэктомия или стентирование.

### Выводы

- Ультразвуковая допплерография ВСА является высокоинформативным методом раннего выявления стенозов, окклюзий и атеросклеротических бляшек.
- Мультипараметрический подход, основанный на комплексной оценке структуры и гемодинамики, повышает точность стратификации сосудистого риска.
- Раннее выявление сосудистых изменений позволяет своевременно назначать профилактические и лечебные мероприятия.



- Применение УЗДГ является важным инструментом мониторинга эффективности терапии и снижения риска цереброваскулярных осложнений.

### Список литератур

1. Johri A., Nambi V., Naqvi T., Feinstein S., Kim E., Park M., Becher H., Sillesen H. Recommendations for the Assessment of Carotid Arterial Plaque by Ultrasound for the Characterization of Atherosclerosis and Evaluation of Cardiovascular Risk: From the American Society of Echocardiography. *Journal of the American Society of Echocardiography*. 2020. <https://doi.org/10.1016/j.echo.2020.04.021>
2. Kabłak-Ziembicka A., Przewłocki T. Clinical Significance of Carotid Intima-Media Complex and Carotid Plaque Assessment by Ultrasound for the Prediction of Adverse Cardiovascular Events in Primary and Secondary Care Patients. *Journal of Clinical Medicine*. 2021;10. <https://doi.org/10.3390/jcm10204628>
3. Alexandratou M., Papachristodoulou A., Li X., Partovi S., Davidhi A., Rafailidis V., et al. Advances in Noninvasive Carotid Wall Imaging with Ultrasound: A Narrative Review. *Journal of Clinical Medicine*. 2022;11. <https://doi.org/10.3390/jcm11206196>
4. Triantafyllias K., Bach M., Bögel S., Muthuraman M., Bertsias G., Boumpas D., et al. Oscillometric, greyscale- and novel color-Doppler-ultrasound indices of macrovascular damage in Sjögren's: the SICARD cohort study. *Arthritis Research & Therapy*. 2025;27. <https://doi.org/10.1186/s13075-025-03625-5>
5. Liu C., Chou C., Chen C., Cheng C., Lu S., Wu Y., et al. Carotid Resistance and Pulsatility: Non-Invasive Markers for Diabetes Mellitus-Related Vascular Diseases. *Journal of Clinical Medicine*. 2025;14. <https://doi.org/10.3390/jcm14072523>
6. Kaszczewski P., Elwertowski M., Leszczyński J., Ostrowski T., Gałzka Z. Volumetric Flow Assessment in Doppler Ultrasonography in Risk Stratification of



- Patients with Internal Carotid Stenosis and Occlusion. *Journal of Clinical Medicine*. 2022;11. <https://doi.org/10.3390/jcm11030531>
7. Brouwers J., Jiang J., Feld R., Van Doorn L., Van Wissen R., Van Walderveen M., et al. A new Doppler-derived parameter to quantify internal carotid artery stenosis: maximal systolic acceleration. *Annals of Vascular Surgery*. 2021. <https://doi.org/10.1016/j.avsg.2021.09.056>
8. Tataru D., Olinic M., Homorodean C., Ober M., Spînu M., Lazăr F., et al. Correlation between Ultrasound Peak Systolic Velocity and Angiography for Grading Internal Carotid Artery Stenosis. *Journal of Clinical Medicine*. 2024;13. <https://doi.org/10.3390/jcm13020517>
9. Klimontov V., Koroleva E., Khapaev R., Korbut A., Lykov A. Carotid Artery Disease in Subjects with Type 2 Diabetes: Risk Factors and Biomarkers. *Journal of Clinical Medicine*. 2021;11. <https://doi.org/10.3390/jcm11010072>
10. Jing Y., Deng F. Floating Thrombosis on a Carotid Web. *Annals of Neurology*. 2025;97. <https://doi.org/10.1002/ana.27206>
11. Saba L., Antignani P., Gupta A., Cau R., Paraskevas K., Poredoš P., et al. International Union of Angiology (IUA) consensus paper on imaging strategies in atherosclerotic carotid artery imaging: From basic strategies to advanced approaches. *Atherosclerosis*. 2022;354. <https://doi.org/10.1016/j.atherosclerosis.2022.06.1014>
12. Dubs L., Charitatos V., Buoso S., Wegener S., Winklhofer S., Alkadhi H., Kurtcuoglu V. Assessment of extracranial carotid artery disease using digital twins – A pilot study. *NeuroImage: Clinical*. 2023;38. <https://doi.org/10.1016/j.nicl.2023.103435>
13. Oto B., Kılıçarslan O., Kayadibi Y., Çebi Y., Adaletli I., Yıldırım S. Retinal Microvascular Changes in Internal Carotid Artery Stenosis. *Journal of Clinical Medicine*. 2023;12. <https://doi.org/10.3390/jcm12186014>
14. Dalan R., Mina T., Azizah N., Loh M., Gervais W., Chambers J. Reference intervals for carotid artery intima-media thickness measurements in the multi-



ethnic Asian population: relationship with cardiometabolic risk factors. *European Heart Journal*. 2023. <https://doi.org/10.1093/eurheartj/ehad655.2461>

15. Lengyel B., Magyar-Stang R., Pál H., Debreczeni R., Sándor Á., Székely A., et al. Non-Invasive Tools in Perioperative Stroke Risk Assessment for Asymptomatic Carotid Artery Stenosis with a Focus on the Circle of Willis. *Journal of Clinical Medicine*. 2024;13. <https://doi.org/10.3390/jcm13092487>
16. Kenny J., Eibl J., Horner C., Arcozzi D., Bonomi F., Fanelli V., et al. Hemodynamic Insights From Simultaneous Common Carotid and Internal Jugular Doppler Ultrasonography in a Patient With Hypoxemia and Multiple Organ Dysfunction. *Chest*. 2024;165(4). <https://doi.org/10.1016/j.chest.2023.11.023>
17. Pinho J., Tyurina A., Hartmann C., Audeh O., Habib P., Abdelnaby R., et al. Point-of-care ultrasound of the common carotid arteries for detection of large vessel occlusion stroke: Results of the POCUS-LVO study. *European Stroke Journal*. 2025. <https://doi.org/10.1177/23969873251315337>
18. Ausserwinkler M., Gensluckner S., Frey V., Gostner I., Paulweber B., Trinka E., et al. Cerebrovascular risk in rheumatoid arthritis patients: insights from carotid artery atherosclerosis in the Paracelsus 10,000 study. *Rheumatology International*. 2025;45. <https://doi.org/10.1007/s00296-024-05781-4>
19. Aras T., Tayeh M., Aswad A., Sharkawy M., Almuzakki Z., Dorweiler B., Majd P. The BG Study Part 1 (Bergisch Gladbach): Development of a Prototype Coronary Artery Disease Risk Score Incorporating Peripheral Vascular Parameters—Preliminary Insights for Future CAD Risk Prediction Models in Vascular Patients. *Journal of Clinical Medicine*. 2025;14. <https://doi.org/10.3390/jcm14041297>
20. Ando T., Sekine T., Suda S., Suzuki K., Murai Y., Iwata K., et al. Quantitative Evaluation of Carotid Artery Stenosis by Multi-VENC 4D Flow MRI: Incorporating Turbulent Kinetic Energy for Clinical Validity. *Journal of Magnetic Resonance Imaging (JMRI)*. 2025. <https://doi.org/10.1002/jmri.70008>