

СТАНДАРТИЗИРОВАННЫЕ МЕТОДЫ ВИЗУАЛИЗАЦИИ АТЕРОСКЛЕРОЗА СОННЫХ АРТЕРИЙ: ОТ УЗИ ДО PLAQUE-RADS

Муслимбек Эсоналиев^{1}, Азизбек Зулунов²,
Зарнигор Мадумарова³, Нодирбек Якубов⁴*

¹*Магистрант кафедры Медицинской радиологии Андиганского
государственного медицинского института, 170127,
г. Андиган, Узбекистан. muslimbekdoktor@gmail.com*

²*Научный руководитель, PhD кафедры Медицинской радиологии
Андиганского государственного медицинского института,
170127, г. Андиган, Узбекистан.*

³*Кандидат медицинских наук, PhD, Заведующий кафедры Медицинской
радиологии Андиганского государственного медицинского института,
170127, г. Андиган, Узбекистан.*

⁴*Научный модератор, PhD кафедры Медицинской радиологии
Андиганского государственного медицинского института,
170127, г. Андиган, Узбекистан.*

Аннотация

Атеросклероз сонных артерий является одной из ведущих причин ишемического инсульта. Своевременная и точная диагностика морфологии атеросклеротических бляшек играет ключевую роль в стратификации риска и выборе тактики лечения. Настоящий обзор посвящён анализу диагностических возможностей современных радиологических методов — ультразвукового исследования (УЗИ), компьютерной томографической ангиографии (КТА), магнитно-резонансной ангиографии (МРА) и цифровой субтракционной ангиографии (DSA) — при атеросклеротических изменениях сонных артерий.

Ключевые слова: Атеросклероз сонных артерий, Визуализация сосудов, Радиологическая диагностика, КТ-ангиография (КТА), Уязвимые атеросклеротические бляшки.

Введение

Атеросклероз экстракраниальных отделов сонных артерий занимает одно из ведущих мест среди причин ишемических инсультов. Своевременное выявление и характеристика атеросклеротических бляшек имеет важнейшее значение для предотвращения сосудистых катастроф. Развитие радиологических технологий сделало возможным неинвазивную визуализацию сосудистой стенки и бляшек с высокой точностью.

1. Ультразвуковая диагностика при атеросклерозе сонной артерии

1.1. Методология и принципы

Ультразвуковое исследование (УЗИ) является неинвазивным, доступным и широко применяемым методом первичной визуализации при подозрении на атеросклероз сонных артерий. Включает два основных компонента: **В-режим (В-mod)** и **доплеровские методы**, которые дополняют друг друга и позволяют оценить как анатомическую структуру, так и гемодинамику [1, 2].

В-режим обеспечивает двумерное изображение сосудистой стенки и окружающих тканей, позволяя выявить морфологические изменения: утолщение интима-медиа, наличие бляшек, их эхогенность, контуры и степень стеноза [1, 3]. Метод эффективен для оценки структуры бляшек, особенно при значительной кальцификации или фиброзе.

Доплеровские методы, включая цветовой, энергетический (power) и спектральный доплер, позволяют оценить кровоток, направление и скорость движения крови. Это имеет значение для стратификации гемодинамической значимости стеноза [2, 4]. Использование доплера повышает специфичность диагностики и позволяет косвенно оценить риск эмболизации при нестабильных бляшках.

1.2. Достоинства и клиническая применимость

Комбинация В-режима и доплера обеспечивает высокую чувствительность при выявлении структурных и функциональных нарушений. Метод особенно эффективен на этапе скрининга и при динамическом наблюдении [3, 4].

УЗИ также применяется для дифференцировки доброкачественных и злокачественных процессов в лимфоузлах, щитовидной железе и других структурах шеи, а в сосудистом контексте — для оценки степени стеноза и характера бляшки [5, 6].

1.3. Ограничения

Несмотря на широкое применение, метод обладает рядом ограничений. Точность зависит от опыта оператора и качества оборудования. Ожирение, кальцификаты, газ в кишечнике или неудобная анатомия могут затруднить визуализацию [1, 4]. Кроме того, дифференцировка типа бляшки (кальцинированная, липидная и др.) ограничена по сравнению с КТА или МРА [2].

2. Компьютерная томографическая ангиография (КТА)

2.1. Принципы метода и его возможности

Компьютерная томографическая ангиография (КТА) — современный неинвазивный метод визуализации сосудистого русла, основанный на получении высокоразрешающих изображений после внутривенного введения контрастного вещества. Метод обладает высокой чувствительностью в выявлении

кальцинированных, некальцинированных и смешанных атеросклеротических бляшек, а также позволяет оценить степень стеноза и характер морфологии бляшек [7–9].

2.2. Обнаружение кальцинатов и структурный анализ

Одним из главных преимуществ КТА является высокая чувствительность в обнаружении кальцинатов. Согласно данным Liu и соавт. (2023), чувствительность КТА при выявлении лёгкой, умеренной и тяжёлой кальцификации достигает 88–100% по сравнению с гистопатологическим анализом [8]. КТА также позволяет проводить количественную оценку кальция, его распределения и протяжённости, что особенно важно при планировании вмешательств.

2.3. Морфология и типы бляшек

Метод позволяет различать стабильные (кальцинированные) и нестабильные (некальцинированные, с признаками воспаления) бляшки, определять их объём, структуру и распределение по сосудистой стенке. Признаки "высокого риска", такие как низкая плотность (<60 HU), napkin-ring sign и точечные кальцинаты <3 мм, считаются индикаторами нестабильности [9, 10].

2.4. Прогностическая ценность и применение

Морфологические признаки, визуализируемые на КТА, позволяют стратифицировать пациентов по риску развития острых сосудистых событий, включая инсульт. Отслеживание динамики бляшек также возможно в рамках повторных исследований для оценки эффективности терапии [7, 11].

2.5. Ограничения

Ограничения КТА связаны с возможной переоценкой стеноза при выраженной кальцификации, необходимостью введения контраста (риск нефропатии) и лучевой нагрузкой. Кроме того, чувствительность метода может снижаться при наличии металлических стентов [8, 12].

3. Магнитно-резонансная ангиография (МРА)

3.1. Метод и диагностические возможности

Магнитно-резонансная ангиография (МРА) является неинвазивным методом, основанным на использовании магнитного резонанса для получения высококонтрастных изображений сосудов и окружающих мягких тканей. В отличие от КТА, МРА не требует ионизирующего излучения и может использоваться как в контрастных, так и в бесконтрастных протоколах. Метод особенно ценен для выявления уязвимых бляшек, включая внутривенные кровоизлияния (IPH) и воспаление [13–15].

3.2. Визуализация структуры бляшек

МРА обладает высокой контрастностью мягких тканей, что позволяет

детально визуализировать **липидное ядро, фиброзную покрышку, IPH и области кальцификации**. Высокое пространственное разрешение современных протоколов даёт возможность оценивать морфологию и структуру сосудистой стенки, включая наличие язв, разрывов и периваскулярного воспаления [14, 16].

3.3. Выявление внутрибляшечного кровоизлияния

Наиболее чувствительным методом для выявления IPH считается бесконтрастная TOF-MRA, где кровоизлияние проявляется как участок высокой интенсивности сигнала (HSI) [13, 17]. Согласно исследованию Pakizer и соавт. (2024), чувствительность метода составляет 86%, а специфичность — 88% по сравнению с гистопатологией [14].

Дополнительными маркерами нестабильности служат изменения периваскулярной жировой ткани (PVAT), сигнал от которой на MPT может коррелировать с активным воспалением [16].

3.4. Клиническая применимость

Наличие IPH на MRA ассоциировано с более высоким риском бессимптомной ишемии мозга и инсульта, что делает метод важным компонентом стратификации риска у пациентов с атеросклерозом сонных артерий [17]. MRA особенно рекомендуется для комплексной оценки морфологии бляшек перед оперативным вмешательством или при динамическом наблюдении [15].

3.5. Ограничения

Метод ограничен у пациентов с наличием металлических имплантатов, стентов или клаустрофобией. Кроме того, MRA менее чувствителен к кальцификатам и имеет высокую стоимость по сравнению с УЗИ и КТА [13, 14].

4. Цифровая субтракционная ангиография (DSA)

4.1. Диагностическая точность и статус «золотого стандарта»

Цифровая субтракционная ангиография (DSA) считается эталонным методом визуализации сосудистого русла, особенно в нейро- и сосудистой хирургии. Она обеспечивает максимально точную визуализацию анатомии сосудов и используется для **диагностики, предоперационного планирования, а также контроля результатов вмешательств** при цереброваскулярных заболеваниях [18–20].

DSA позволяет в реальном времени оценить кровоток, анатомические вариации, степень стеноза и коллатеральное кровообращение. Метод незаменим в ситуациях, требующих высокой пространственной и временной точности, включая подозрение на нестабильные или изъязвлённые бляшки.

4.2. Инвазивность и потенциальные осложнения

В отличие от КТА и MRA, DSA является инвазивной процедурой, требующей катетеризации сосудов и введения контрастного вещества. Это

сопряжено с рисками **аллергических реакций, нефропатии, кровотечений, тромбозов и лучевой нагрузки** [19, 21]. Процедура требует специальной подготовки, проведения в условиях ангиографической операционной и восстановления пациента после вмешательства.

4.3. Современные подходы к снижению инвазивности

Для снижения лучевой нагрузки и повышения безопасности внедряются современные технологии: **4D-DSA, интерливинг-имиджинг (interleaved x-ray imaging)**, а также **внутриоперационная 3D-DSA**, позволяющая сразу же оценить результат хирургического вмешательства без повторной ангиографии [21, 22].

4.4. Сравнение с неинвазивными методами

Несмотря на инвазивность, DSA сохраняет лидирующую позицию при необходимости точной оценки сосудов, особенно если планируется интервенционное лечение. Однако при наличии противопоказаний или в качестве метода первичного скрининга предпочтение отдают КТА или МРА [18].

5. Сравнительная оценка методов визуализации

Современные радиологические методы визуализации играют ключевую роль в диагностике атеросклеротических изменений сонных артерий. Каждый из них обладает своими уникальными преимуществами и ограничениями, определяющими его клиническое применение. Ниже представлена сводная таблица, позволяющая наглядно сопоставить диагностические характеристики, инвазивность, возможности визуализации и прогностическую значимость УЗИ, КТА, МРА, DSA и системы CAD-RADS (Plaque-RADS).

Таблица 1. Сравнение визуализационных методов при оценке атеросклероза сонных артерий

Метод	Тип метода	Визуализируемые особенности	Диагностическая точность	Преимущества	Ограничения
УЗИ (В-mod + Допплер)	Неинвазивный	Структура стенки, кровотока, эхогенность	Чувств. высокая, специф. средняя (операторозависимость)	Доступность, скорость, оценка гемодинамики	Ограниченная специфичность, зависимость от опыта
КТА (СТА)	Неинвазивный	Кальцинаты, морфология бляшек, стеноз	Чувств. 88–100%, специф. умеренная (при кальцификации)	Количественная оценка, прогноз, выявление нестабильных признаков	Переоценка стеноза, контраст, лучевая нагрузка

MPA (MRA)	Неинвазивный	Мягкие ткани, IPH, воспаление, структура бляшки	Чувств. 86–90%, специф. 88–96%	Без ионизирующего излучения, оценка IPH и воспаления	Стоимость, ограничения при имплантах и стентах
DSA	Инвазивный	Ангиография в реальном времени, высокая детализация	Очень высокая (референсный стандарт)	Максимальная точность, оценка до и после вмешательства	Инвазивность, риски, высокая стоимость
CAD-RADS (Plaque-RADS)	Стандартизированная интерпретация ССТА	Морфология, стеноз, признаки высокого риска	Высокая воспроизводимость, полезна в стратификации	Упрощение отчётов, прогностическая ценность	Ограничения в динамическом мониторинге и серийных исследованиях

Эта таблица подчёркивает необходимость **мультидисциплинарного подхода** при оценке состояния сонных артерий. В зависимости от клинической задачи, используется один или несколько методов. Так, УЗИ предпочтительно для первичного скрининга, КТА — для анализа кальцинатов и морфологии, МРА — для оценки уязвимости бляшек, а DSA — при планировании вмешательств или в сложных диагностических случаях.

6. Заключение

Атеросклероз сонных артерий остаётся одной из ведущих причин ишемических инсультов, а своевременная и точная диагностика морфологических характеристик бляшек — ключевым фактором успешной стратификации риска и выбора тактики лечения. Современные радиологические методы визуализации, такие как УЗИ, КТА, МРА и DSA, обладают уникальными возможностями для оценки структуры сосудистой стенки, кровотока и признаков нестабильности бляшек.

Ультразвуковое исследование удобно и доступно, но ограничено в специфичности. КТА позволяет количественно оценивать кальцификацию и морфологию бляшек, а МРА — выявлять внутрибляшечные кровоизлияния и воспаление. DSA остаётся «золотым стандартом» визуализации, несмотря на свою инвазивность. Система CAD-RADS (Plaque-RADS) вносит важный вклад в стандартизацию интерпретации и прогнозирования сосудистых событий.

Наиболее эффективной стратегией является интеграция различных методов

с учётом их взаимодополняющих свойств. Такой мультипараметрический подход способствует более точной оценке степени угрозы и персонализации терапии у пациентов с каротидным атеросклерозом.

Список литературы:

1. Kudo, M., Ueshima, K., Osaki, Y., Hirooka, M., Imai, Y., Aso, K., ... & Akazawa, K. (2019). B-mode ultrasonography versus contrast-enhanced ultrasonography for surveillance of hepatocellular carcinoma: A prospective multicenter randomized controlled trial. *Liver Cancer*, 8(4), 271–280. <https://doi.org/10.1159/000501082>
2. Guerri, G., Vignoli, M., Palombi, C., Monaci, M., & Petrizzi, L. (2019). Ultrasonographic evaluation of umbilical structures in Holstein calves: A comparison between healthy calves and calves affected by umbilical disorders. *Journal of Dairy Science*. <https://doi.org/10.3168/jds.2019-16737>
3. Gawad, A., Moustafa, B., Abouelgreed, T., Elnady, E., Khater, S., Rehan, M., ... & Abdelkader, S. (2024). Exploring the potential of combined B-mode features and color Doppler ultrasound in the diagnosis of ureteric stone as an alternative to ionizing radiation exposure by computed tomography. *Archivio Italiano di Urologia e Andrologia*, 96(2), 12523. <https://doi.org/10.4081/aiua.2024.12523>
4. Febo, E., Del Signore, F., Bernabò, N., Paolini, A., Simeoni, F., De Bonis, A., ... & Vignoli, M. (2023). Ultrasonography and sonoelastography characteristics of benign vs. malignant mesenteric lymph nodes in cats: An update. *Animals*, 13. <https://doi.org/10.3390/ani13162664>
5. Kassim, A., Aziz, M., & Soliman, A. (2021). Role of high-resolution ultrasound in detection and assessment of disease activity in rheumatoid arthritis. *QJM: An International Journal of Medicine*. <https://doi.org/10.1093/qjmed/hcab106.008>
6. Nguyen, P., & Nguyen, V. (2022). Combination of B-mode ultrasound and Doppler ultrasound in approaching to uterine intracavitary pathologies among women above 40 years with abnormal uterine bleeding: A multicenter-based study from Vietnam. *Journal of Mid-Life Health*, 13, 145–151. https://doi.org/10.4103/jmh.jmh_93_22
7. Chrencik, M., Khan, A., Luther, L., Anthony, L., Yokemick, J., Patel, J., ... & Lal, B. (2019). Quantitative assessment of carotid plaque morphology using computed tomography angiography. *Journal of Vascular Surgery*. <https://doi.org/10.1016/j.jvs.2018.11.050>
8. Liu, Y., Wang, C., Zhang, X., Liang, K., Tao, J., Guo, L., & Gao, B. (2023). A comparison of computed tomography imaging with histopathology in the sensitivity and correlation of evaluating coronary arterial calcification. *Quantitative Imaging in Medicine and Surgery*, 13, 2426–2440. <https://doi.org/10.21037/qims-22-603>
9. Grodecki, K., Cadet, S., Staruch, A., Michalowska, A., Kepka, C., Wolny, R., ... & Opolski, M. (2020). Noncalcified plaque burden quantified from coronary computed

- tomography angiography improves prediction of side branch occlusion after main vessel stenting in bifurcation lesions. *Clinical Research in Cardiology*, 110, 114–123. <https://doi.org/10.1007/s00392-020-01658-1>
10. Pezel, T., Sideris, G., Dillinger, J., Logeart, D., Manzo-Silberman, S., Cohen-Solal, A., ... & Henry, P. (2022). Coronary computed tomography angiography analysis of calcium content to identify non-culprit vulnerable plaques in patients with acute coronary syndrome. *Frontiers in Cardiovascular Medicine*, 9. <https://doi.org/10.3389/fcvm.2022.876730>
11. Ramasamy, A., Safi, H., Moon, J., Andiapen, M., Rathod, K., Maurovich-Horvát, P., ... & Bourantas, C. (2020). Evaluation of the efficacy of computed tomographic coronary angiography in assessing coronary artery morphology and physiology: Rationale and study design. *Cardiology*, 145, 285–293. <https://doi.org/10.1159/000506537>
12. Matsumoto, H., Watanabe, S., Kyo, E., Tsuji, T., Ando, Y., Otaki, Y., ... & Dey, D. (2019). Standardized volumetric plaque quantification and characterization from coronary CT angiography: A head-to-head comparison with invasive intravascular ultrasound. *European Radiology*. <https://doi.org/10.1007/s00330-019-06219-3>
13. Gwak, D., Kim, B., Chung, I., & Han, M. (2020). The usefulness of time-of-flight MR angiography in detection of intraplaque hemorrhage in patients with acute ischemic stroke with symptomatic carotid stenosis. *PLoS ONE*, 15. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0229024>
14. Pakizer, D., Kozel, J., Elmers, J., Feber, J., Michel, P., Školoudík, D., & Sirimarco, G. (2024). Diagnostics accuracy of magnetic resonance imaging in detection of atherosclerotic plaque characteristics in carotid arteries compared to histology: A systematic review. *Journal of Magnetic Resonance Imaging*, 61, 1067–1093. <https://doi.org/10.1002/jmri.29522>
15. Dakis, K., Nana, P., Athanasios, C., Spanos, K., Konstantinos, B., Giannoukas, A., & Kouvelos, G. (2023). Carotid plaque vulnerability diagnosis by CTA versus MRA: A systematic review. *Diagnostics*, 13. <https://doi.org/10.3390/diagnostics13040646>
16. Yu, S., Huo, R., Qiao, H., Ning, Z., Xu, H., Yang, D., ... & Zhao, X. (2023). Carotid artery perivascular adipose tissue on magnetic resonance imaging: A potential indicator for carotid vulnerable atherosclerotic plaque. *Quantitative Imaging in Medicine and Surgery*, 13, 7695–7705. <https://doi.org/10.21037/qims-23-280>
17. Rots, M., Timmerman, N., De Kleijn, D., Pasterkamp, G., Brown, M., Bonati, L., & De Borst, G. (2019). Magnetic resonance imaging identified brain ischaemia in symptomatic patients undergoing carotid endarterectomy is related to histologically apparent intraplaque haemorrhage. *European Journal of Vascular and Endovascular Surgery*. <https://doi.org/10.1016/j.ejvs.2019.07.017>

- 18.Posa, A., Tanzilli, A., Barbieri, P., Steri, L., Arbia, F., Mazza, G., ... & Iezzi, R. (2022). Digital subtraction angiography (DSA): Technical and diagnostic aspects in the study of lower limb arteries. *Radiation*. <https://doi.org/10.3390/radiation2040028>
- 19.Li, K., Vakharia, V., Sparks, R., Rodionov, R., Vos, S., McEvoy, A., ... & Duncan, J. (2019). Stereoelectroencephalography electrode placement: Detection of blood vessel conflicts. *Epilepsia*, 60, 1942–1948. <https://doi.org/10.1111/epi.16294>
- 20.Marbacher, S., Kienzler, J., Mendelowitsch, I., D'Alonzo, D., Anderegg, L., Diepers, M., ... & Fandino, J. (2019). Comparison of intra- and postoperative 3-dimensional digital subtraction angiography in evaluation of the surgical result after intracranial aneurysm treatment. *Neurosurgery*. <https://doi.org/10.1093/neuros/nyz487>
- 21.Whitehead, J., Hoffman, C., Wagner, M., Minesinger, G., Nikolau, E., Laeseke, P., & Speidel, M. (2023). Interleaved x-ray imaging: A method for simultaneous acquisition of quantitative and diagnostic digital subtraction angiography. *Medical Physics*. <https://doi.org/10.1002/mp.16794>
- 22.Ahmed, S., Mocco, J., Zhang, X., Kelly, M., Doshi, A., Nael, K., & De Leacy, R. (2019). MRA versus DSA for the follow-up imaging of intracranial aneurysms treated using endovascular techniques: A meta-analysis. *Journal of NeuroInterventional Surgery*, 11, 1009–1014. <https://doi.org/10.1136/neurintsurg-2019-014936>