

Article/Review

Современные аспекты визуализации признаков нестабильности атеросклеротической бляшки в сонных артериях (обзор литературы)

М.Х. Ходжибеков ¹ , Ф.М. Бекметова ² , А.Ш. Алманова ^{*1} 

¹ Кафедра Медицинской радиологии, Ташкентская медицинская академия, Ташкент, 100109, Узбекистан

² Лаборатория функциональной диагностики, Республиканский научно-практический медицинский центр кардиологии, Ташкент, 100052, Узбекистан

azizaalmanova@gmail.com (М.Х.), bekmetova@rambler.ru (Ф.Б.), azizaalmanova@gmail.com (А.А.)

* Correspondence: azizaalmanova@gmail.com; Tel.: +998 90 9283935 (А.А.)

Аннотация:

Атеросклероз сонных артерий является одной из ведущих причин ишемического инсульта и других сердечно-сосудистых осложнений. Разрыв нестабильной атеросклеротической бляшки приводит к острому нарушению мозгового кровообращения, что делает своевременную диагностику и оценку риска крайне важными. В данной статье рассматриваются современные методы визуализации признаков нестабильности атеросклеротической бляшки, включая магнитно-резонансную томографию (МРТ), компьютерную томографию (КТ), позитронно-эмиссионную томографию (ПЭТ) и ультразвуковую диагностику (УЗИ). Особое внимание уделяется диагностическим возможностям и преимуществам каждого метода, а также их сочетанному применению для повышения точности прогнозирования сосудистых событий. Результаты исследований показывают, что комбинированные подходы, такие как УЗИ + МРТ или КТ + ПЭТ, позволяют достичь точности до 93% в выявлении нестабильных бляшек. Методы визуализации обеспечивают детальную оценку морфологии бляшки, ее липидного ядра, толщины фиброзной крышки, воспалительных процессов и неоваскуляризации. Современные технологии, включая эластографию и использование искусственного интеллекта для анализа изображений, открывают новые перспективы в диагностике и мониторинге пациентов с атеросклерозом. Таким образом, внедрение комплексных визуализирующих методик позволяет своевременно выявлять пациентов с высоким риском инсульта, повышая эффективность профилактики и лечения сердечно-сосудистых заболеваний.

Цитирование: М.Х. Ходжибеков, Ф.М. Бекметова, А.Ш. Алманова.

Современные аспекты визуализации признаков нестабильности атеросклеротической бляшки в сонных артериях (обзор литературы). 2025, 2,3, 6. <https://doi.org/10.70626/cardiouz-2025-2-00055>

Полученный: 10.07.2025

Исправленный: 18.07.2025

Принято: 25.09.2025

Опубликованный: 30.09.2025

Copyright: © 2025 by the authors. Submitted to for possible open access publication under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

Ключевые слова: атеросклероз, нестабильная бляшка, визуализация, МРТ, УЗИ, ПЭТ, КТ.

Modern Approaches to Imaging Features of Unstable Atherosclerotic Plaques in the Carotid Arteries: A Literature Review

Marat Kh.Khodjibekov ¹ , Feruza M.Bekmetova ² , A.Sh. Almanova ^{*1} 

¹ Department of Medical Radiology, Tashkent Medical Academy, Tashkent 100109, Uzbekistan

² Laboratory of Functional Diagnostics, Republican Scientific and Practical Medical Center of Cardiology, Tashkent 100052, Uzbekistan

azizaalmanova@gmail.com (M.Kh.), bekmetova@rambler.ru (F.B.), azizaalmanova@gmail.com (A.A.)

Abstract:

Carotid artery atherosclerosis is one of the leading causes of ischemic stroke and other cardiovascular complications. Rupture of an unstable atherosclerotic plaque can lead to acute cerebrovascular events, making timely diagnosis and risk assessment critically important. This review discusses current imaging methods for detecting signs of plaque instability, including magnetic resonance imaging (MRI), computed tomography (CT), positron emission tomography (PET), and ultrasound

(US). Special attention is given to the diagnostic capabilities and advantages of each modality, as well as their combined use to enhance the accuracy of vascular event prediction. Research findings indicate that hybrid approaches—such as US + MRI or CT + PET—can achieve up to 93% accuracy in identifying unstable plaques. Imaging techniques provide detailed assessments of plaque morphology, lipid core, fibrous cap thickness, inflammation, and neovascularization. Advanced technologies, including elastography and artificial intelligence for image analysis, are opening new prospects for diagnosing and monitoring patients with atherosclerosis. Thus, implementing comprehensive imaging strategies enables early identification of high-risk stroke patients, improving the effectiveness of cardiovascular disease prevention and treatment.

Keywords: atherosclerosis, unstable plaque, imaging, MRI, ultrasound, PET, CT.

Введение

Атеросклероз является одной из ведущих причин сердечно-сосудистых заболеваний и инсультов, составляя более 50% всех случаев ишемического инсульта в мире. По данным Всемирной организации здравоохранения (ВОЗ), ежегодно около 15 миллионов человек страдают от инсульта, из которых 5 миллионов умирают, а еще 5 миллионов остаются инвалидами [1–3]. Ключевую роль в развитии острых сосудистых событий играет нестабильность атеросклеротической бляшки, разрыв которой приводит к тромбообразованию и закупорке артерий. Современные методы визуализации позволяют детально оценить морфологические и функциональные характеристики бляшек, что имеет критическое значение для своевременной диагностики и предотвращения сосудистых катастроф.

Актуальность исследования обусловлена высокой распространенностью атеросклероза и его осложнений, требующих точных методов диагностики для своевременного вмешательства. Несмотря на широкий арсенал визуализирующих технологий, до сих пор остается открытым вопрос о наиболее эффективных методах выявления нестабильных бляшек и прогнозирования риска их разрыва. В данной работе рассматриваются современные аспекты визуализации атеросклеротических бляшек в сонных артериях, включая магнитно-резонансную томографию (МРТ), компьютерную томографию (КТ), позитронно-эмиссионную томографию (ПЭТ) и ультразвуковые методы, включая метод эластографии. Особое внимание уделено диагностической точности этих технологий и их роли в предотвращении сердечно-сосудистых осложнений.

Морфологические и визуализационные признаки нестабильности атеросклеротической бляшки.

Атеросклероз сонных артерий является ведущей причиной ишемических инсультов и транзиторных ишемических атак (ТИА). Ключевую роль в этом процессе играет нестабильность атеросклеротической бляшки, которая может привести к ее разрыву, тромбообразованию и закупорке сосуда. Исследование признаков нестабильности бляшки является важной задачей современной медицины, поскольку ранняя диагностика и прогнозирование риска сосудистых событий позволяют своевременно начать профилактическое и лечебное вмешательство [4].

Морфологические характеристики бляшки определяют ее стабильность. Тонкая фиброзная крышка, большое липидное ядро, внутрибляшечные кровоизлияния и поверхностная эрозия - это основные морфологические признаки, указывающие на склонность бляшки к разрыву [5]. Тонкая фиброзная крышка (<65 мкм) является ключевым фактором нестабильности. Она характеризуется низким содержанием коллагена и большим количеством макрофагов, что делает крышку уязвимой к разрушению. По данным литературы, у 78% пациентов с симптоматическими бляшками наблюдается выраженное истончение фиброзной крышки [4,6,7].

Липидное ядро, составляющее более 40% объема бляшки, также ассоциируется с высоким риском разрыва. Оно представляет собой скопление окисленных липопротеинов низкой плотности (ЛПНП) и некротических масс. Наличие крупного липидного ядра увеличивает вероятность нестабильности бляшки на 60% [4,5]. Внутрибляшечные кровоизлияния усиливают воспалительные процессы и увеличивают объем липидного ядра [8]. Современные исследования, использующие МРТ с контрастированием, показывают, что кровоизлияния являются маркером активной нестабильной бляшки у 45% пациентов с инсультами [9].

Поверхностная эрозия эндотелиального слоя, хотя и менее распространена, также связана с тромбообразованием. Этот процесс часто наблюдается у женщин и ассоциируется с системным воспалением и нарушением эндотелиальной функции [5]. Воспаление является центральным механизмом дестабилизации бляшки. Макрофаги, проникая в бляшку, выделяют ферменты, такие как металлопротеиназы матрикса (ММП), которые разрушают коллаген и ослабляют фиброзную крышку. Повышенные уровни ММП-9 и ММП-2 коррелируют с высокой степенью нестабильности бляшек [10].

Неоваскуляризация внутри бляшки, связанная с образованием новых кровеносных сосудов, также усиливает нестабильность. Эти сосуды характеризуются хрупкостью и склонностью к разрывам, что приводит к внутривенечным кровоизлияниям. Известно, что высокая степень неоваскуляризации повышает риск разрыва бляшки в 2,3 раза [6].

Молекулярные маркеры, такие как С-реактивный белок (CRP), интерлейкин-6 (IL-6) и фактор некроза опухоли- (TNF-), являются биохимическими индикаторами воспаления, ассоциированного с нестабильностью. Уровни этих маркеров значительно повышены у пациентов с симптоматическим атеросклерозом [1,2].

Изменения гемодинамики также играют важную роль в дестабилизации бляшек. Турбулентный кровоток, возникающий в зонах бифуркации сосудов, способствует отложению липидов и увеличению воспалительной активности [6]. Исследования [7,11] с использованием ультразвукового доплера показывают, что у 70% пациентов с нестабильными бляшками наблюдаются зоны турбулентного кровотока. Повышенная локальная нагрузка на стенку сосуда вызывает микроповреждения эндотелия, что стимулирует воспалительные процессы и способствует прогрессированию нестабильности бляшки [6].

Гистологические исследования демонстрируют ключевые различия между стабильными и нестабильными бляшками. Нестабильные бляшки содержат меньше коллагена, больше липидных отложений и выраженное воспаление. По имеющимся данным [12], нестабильные бляшки на 50% менее богаты коллагеном, чем стабильные.

Прогностическая значимость признаков нестабильности атеросклеротической бляшки.

Выявление признаков нестабильности позволяет индивидуализировать подходы к лечению и прогнозированию риска сосудистых событий. Пациенты с нестабильными бляшками чаще нуждаются в хирургическом вмешательстве, таком как каротидная эндартерэктомия. Динамическое наблюдение с использованием методов визуализации позволяет оценивать эффективность терапии, направленной на стабилизацию бляшек, включая использование статинов и противовоспалительных препаратов [1,2].

Нестабильность атеросклеротических бляшек определяется множеством факторов, включая морфологические, воспалительные, гемодинамические и молекулярные признаки. Современные методы визуализации играют ключевую роль в выявлении этих признаков и помогают разработать более эффективные стратегии профилактики сосудистых катастроф. Дальнейшее развитие технологий и биомаркеров нестабильности позволит повысить точность диагностики и улучшить клинические исходы у пациентов с атеросклерозом [5–7].

Ультразвуковая оценка атеросклеротической бляшки в сонной артерии.

Ультразвуковая диагностика используется в качестве метода первой линии для выявления атеросклеротических изменений в сосудах. Она позволяет проводить структурный и функциональный анализ сосудов, выявлять признаки стеноза и нестабильности, а также динамически наблюдать за изменениями под влиянием терапии [7].

Традиционно УЗИ сонных артерий выполняется в нескольких режимах.

В-режим, который дает информацию о морфологии сосудов и характеристиках бляшки. Цветное доплеровское картирование (ЦДК), позволяющее оценивать кровоток и выявлять зоны турбулентности. Спектральный доплер, предоставляющий количественные данные о скорости кровотока. Сочетание этих методов обеспечивает высокую точность диагностики, а их дополнение новыми технологиями, такими как эластография и контрастное ультразвуковое исследование, позволяет расширить возможности УЗИ [7,11,13].

Одной из ключевых задач ультразвукового исследования является оценка морфологии бляшки. Толщина комплекса интимы-меди (ТИМ) является ранним маркером атеро-

склеротических изменений. Повышение ТИМ ($>0,9$ мм) свидетельствует о субклиническом атеросклерозе и требует наблюдения [4,7].

Морфология бляшек классифицируется на основе их эхогенности и эхоструктуры. Гомогенные бляшки, как правило, считаются стабильными, в то время как гетерогенные бляшки, содержащие липидное ядро и кальцифицированные участки, чаще ассоциируются с нестабильностью. Гипоэхогенные бляшки, имеющие большое липидное ядро, представляют наибольший риск разрыва и тромбообразования [14].

Кальцификация бляшек также важна для оценки их стабильности. Хотя кальцифицированные бляшки считаются более стабильными, выраженная кальцификация может затруднять визуализацию и оценку других компонентов бляшки [15].

Признаки нестабильности бляшки, выявляемые с помощью УЗИ, включают: понкую фиброзную крышку, которая связана с высоким риском разрыва; внутривенные кровоизлияния, представленные гипоэхогенными участками; ульцерации поверхности бляшки, которые увеличивают вероятность тромбообразования [5,6].

Эти признаки являются ключевыми маркерами нестабильности и позволяют прогнозировать риск сосудистых осложнений. Современные исследования показали, что использование УЗИ в сочетании с эластографией позволяет с высокой точностью выявлять нестабильные бляшки, что имеет важное значение для профилактики инсультов.

Допплеровская оценка кровотока.

Допплеровское ультразвуковое исследование играет важную роль в оценке гемодинамики. Основное внимание уделяется измерению скорости кровотока и выявлению зон турбулентности, которые указывают на значительное сужение просвета сосуда [7].

Для оценки степени стеноза используются следующие параметры:

- скорость кровотока в зоне стеноза >125 см/с указывает на значительное сужение;
- турбулентность кровотока за зоной стеноза свидетельствует о гемодинамически значимом препятствии [7,13,16].

Допплеровское исследование позволяет также изучать распределение кровотока в зависимости от структуры бляшки. Например, зоны низкого кровотока часто связаны с наличием липидного ядра, а турбулентные потоки указывают на нестабильность [11].

Новые подходы в ультразвуковой диагностике.

С развитием ультразвуковых технологий появились новые подходы, которые значительно повышают диагностическую точность.

3D-УЗИ. Трехмерная визуализация обеспечивает более точное определение объема и структуры бляшек [7].

Контрастное ультразвуковое исследование (КУЗИ). КУЗИ используется для выявления неоваскуляризации, которая является важным маркером нестабильности. Исследования показали, что у пациентов с симптоматическим атеросклерозом часто наблюдается выраженная неоваскуляризация, связанная с высоким риском разрыва бляшки [11].

Различные исследования [6,7,11] показали, что УЗИ имеет чувствительность 88-92% и специфичность 85-88% для выявления нестабильных бляшек.

Также известно, что использование ультразвука в динамическом наблюдении позволяет оценивать изменения структуры и объема бляшек под влиянием терапии. У пациентов, получавших статины, наблюдалось уменьшение липидного ядра и повышение эхогенности бляшек, что свидетельствовало об их стабилизации [7]. Однако метод имеет и ограничения, включая зависимость от опыта оператора, ограниченную визуализацию кальцифицированных бляшек и трудности в оценке глубоко расположенных сосудов.

Ультразвуковая диагностика является одним из наиболее ценных инструментов в оценке атеросклеротических бляшек сонных артерий. Современные методы позволяют выявлять не только степень стеноза, но и признаки нестабильности бляшек, что имеет важное значение для прогнозирования риска сосудистых осложнений. Дальнейшее развитие ультразвуковых технологий и интеграция новых подходов, таких как эластография и КУЗИ, значительно повысят диагностическую точность и расширят возможности мониторинга пациентов с атеросклерозом.

Метод эластографии в оценке атеросклеротических бляшек в сосудах.

Эластография - это ультразвуковой метод, который измеряет жесткость тканей путем оценки их деформации под действием внешнего или внутреннего воздействия. Основным принципом эластографии является измерение модуля упругости тканей, который выражается в паскалях (Па). Чем выше жесткость ткани, тем устойчивее она к деформации [17].

Эластография сосудов – это метод, основанный на оценке механических свойств тканей, таких как жесткость и эластичность. Основная цель эластографии заключается в измерении реакции тканей на внешнее воздействие (например, механическое давление или акустическую волну) и в определении их способности к деформации. Этот подход позволяет отличать мягкие, менее стабильные ткани от более жестких и устойчивых [18].

Принцип работы метода можно объяснить через несколько этапов. При воздействии внешнего давления или ультразвукового импульса на ткани возникают сдвиговые напряжения, приводящие к их деформации. Разные ткани имеют разную способность к деформации, зависящую от их плотности, структуры и упругих свойств. Жесткие ткани (например, кальцифицированные участки или фиброзная крышка бляшки) демонстрируют меньшую деформацию. Мягкие ткани (например, липидное ядро нестабильной атеросклеротической бляшки) подвергаются большей деформации. Для измерения жесткости тканей используются сдвиговые волны – особый тип механических волн, которые распространяются в поперечном направлении через ткани. Скорость распространения сдвиговых волн измеряется с помощью ультразвуковых импульсов, отраженных от тканей. Ультразвуковая система фиксирует время прохождения волны через определенные участки ткани и рассчитывает скорость ее распространения [17,19].

На основе измерений жесткости тканей строится эластографическая карта (эластограмма). Она представляет собой цветное изображение, где каждый цвет соответствует определенному уровню жесткости: мягкие ткани отображаются в теплых тонах (желтый, красный), а жесткие ткани – в холодных тонах (синий, зеленый) [18,20].

Эластограмма помогает визуально идентифицировать участки с разной жесткостью, что особенно важно для оценки состояния атеросклеротической бляшки.

В контексте сосудов эластография применяется для оценки упругих свойств стенки сосуда и характеристик атеросклеротических бляшек. Жесткость стенки сосуда - изменения в упругости сосудистой стенки могут свидетельствовать о развитии атеросклероза или других патологий. Состав бляшки - мягкие участки бляшки (например, липидное ядро) указывают на нестабильность, в то время как жесткие участки (кальцификация) свидетельствуют о стабильности. Риск разрыва бляшки - эластография позволяет прогнозировать вероятность разрыва на основе жесткости фиброзной крышки [17,20,21].

В исследованиях [7,19,20] показано, что эластография обладает высокой точностью в прогнозировании нестабильности бляшек. Из 150 пациентов с симптоматическим атеросклерозом, нестабильные бляшки имели жесткость менее 15 кПа, что коррелировало с риском инсульта. Комбинированное использование эластографии и ультразвука с высоким разрешением увеличило диагностическую точность до 92% [18,20].

Эти исследования подтверждают высокую диагностическую ценность эластографии в оценке атеросклеротических бляшек и подчеркивают ее потенциал в клинической практике для прогнозирования рисков и мониторинга терапии.

Эффективность других методов визуализации параметров атеросклеротической бляшки в сонных артериях.

МРТ является одним из наиболее точных методов, который позволяет оценивать состав бляшки, включая наличие липидного ядра, фиброзной крышки и кровоизлияний. Особенно полезной является возможность контрастирования, что делает метод эффективным для определения воспалительных процессов. В то же время, высокая стоимость и технические ограничения делают его менее доступным для широкого применения. В исследовании Benson J.C. (2023) [22] показано, что липидное ядро, превышающее 40% от общего объема бляшки, и тонкая фиброзная крышка (<65 мкм) являются ключевыми предикторами нестабильности. Применение гадолиний-содержащих контрастных веществ позволяет выявить зоны воспаления, которые коррелируют с активностью бляшки. Выявлено, что контрастированная МРТ имеет точность 91% в прогнозировании риска сосудистых событий.

Компьютерная томография, в частности КТ-ангиография, обеспечивает точное измерение кальцификации - одного из ключевых факторов стабильности бляшки. Однако использование ионизирующего излучения и контрастных веществ ограничивает ее применение в рутинной практике. Установлено, что высокая степень кальцификации (индекс кальция >300) ассоциируется со стабильностью бляшек, в то время как некальцифицированные липидные участки свидетельствуют о нестабильности. Новые подходы, такие как перфузионная КТ, позволяют оценивать кровоснабжение стенок сосудов и зоны гипоксии, что связано с активностью воспаления [23–25].

Позитронно-эмиссионная томография (ПЭТ) в сочетании с КТ или МРТ предоставляет уникальную информацию о метаболической активности и воспалении бляшек. С помощью радиофармпрепаратов, таких как 18F-FDG, можно выявить нестабильные бляшки с высокой вероятностью разрыва. Несмотря на перспективность метода, высокая стоимость и ограниченная доступность остаются его основными недостатками. Подтверждено, что повышенное поглощение 18F-FDG коррелирует с наличием воспалительных клеток в бляшке. У пациентов с высоким уровнем поглощения наблюдались события (инсульт, ТИА) в течение 12 месяцев наблюдения. Гибридные системы ПЭТ/МРТ позволяют одновременно оценивать метаболическую активность и морфологию бляшки, увеличивая точность диагностики [23,26].

Наконец, оптическая когерентная томография (ОКТ) позволяет визуализировать микроструктуры с высокой разрешающей способностью, такие как тонкая фиброзная крышка или микроразрывы. Однако малая глубина проникновения ограничивает его применение для исследования крупных сосудов. Согласно исследованиям 2023 года, опубликованным в *Circulation Research*, толщина фиброзной крышки менее 65 мкм является критическим порогом для нестабильности. ОКТ позволяет выявлять микроповреждения крышки, которые не видны при других методах визуализации [3,23].

Комбинирование нескольких методов визуализации позволяет значительно улучшить диагностическую точность. УЗД+МРТ: УЗД используется для первичной оценки, а МРТ - для детального анализа структуры и воспалительных процессов. КТ+ПЭТ: КТ обеспечивает морфологическую оценку, а ПЭТ - функциональную. В исследовании 2024 года, опубликованном в *European Heart Journal*, эта комбинация продемонстрировала точность 93% для предсказания сосудистых событий [1–3].

Современные методы визуализации, такие как эластография, МРТ, ПЭТ и ОКТ, предоставляют важную информацию о структурных и функциональных характеристиках атеросклеротических бляшек. Они позволяют выявлять нестабильные бляшки с высокой точностью, что имеет решающее значение для предотвращения сосудистых катастроф. Комбинированные подходы являются наиболее перспективными, поскольку они позволяют использовать преимущества каждого метода и минимизировать их недостатки.

Заключение

Современные методы визуализации играют ключевую роль в диагностике нестабильных атеросклеротических бляшек сонных артерий, позволяя своевременно выявлять пациентов с высоким риском сосудистых осложнений. Магнитно-резонансная томография, компьютерная томография, позитронно-эмиссионная томография и ультразвуковые технологии обеспечивают детальную оценку морфологии, воспалительной активности и гемодинамических характеристик бляшек. Комбинированные подходы, объединяющие различные методы, демонстрируют наибольшую диагностическую точность, достигая 90–95% в прогнозировании риска инсульта. Дальнейшее развитие технологий визуализации и внедрение искусственного интеллекта в анализ изображений позволят повысить эффективность диагностики, улучшить мониторинг динамики атеросклеротических изменений и способствовать индивидуализированному подходу к лечению, что в конечном итоге приведет к снижению заболеваемости и смертности от сердечно-сосудистых заболеваний.

Вклад авторов

Концептуализация, Ходжибеков и А.А.; методология, А.А.; программное обеспечение, Ф.Б.; валидация, Ходжибеков, Ф.Б. и А.А.; формальный анализ, А.А.; исследование, Ходжибеков; ресурсы, Ф.Б.; кураторство данных, Ф.Б.; написание оригинального текста, А.А.;

написание — рецензирование и редактирование, Ходжибеков; визуализация, Ф.Б.; руководство, М.Х.; администрирование проекта, А.А. Все авторы ознакомлены с опубликованной версией рукописи и согласны с ней.

Authors' contribution

Conceptualization, Khodjibekov and A.A.; methodology, A.A.; software, F.B.; validation, Khodjibekov, F.B. and A.A.; formal analysis, A.A.; investigation, Khodjibekov; resources, F.B.; data curation, F.B.; writing—original draft preparation, A.A.; writing—review and editing, Khodjibekov; visualization, F.B.; supervision, M.Kh.; project administration, A.A. All authors have read and agreed to the published version of the manuscript.

Источник финансирования

Это исследование не получало внешнего финансирования.

Funding source

This research received no external funding.

Соответствие принципам этики

Данное исследование выполнено в соответствии с принципами Хельсинкской декларации Всемирной медицинской ассоциации (WMA Declaration of Helsinki) и действующими этическими нормами Республики Узбекистан. Поскольку статья представляет собой обзор литературы и не включает данные пациентов, отдельное одобрение этического комитета не требовалось. Все источники информации корректно процитированы и использованы с соблюдением принципов академической добросовестности.

Ethics approval

This study was conducted in accordance with the principles of the World Medical Association Declaration of Helsinki and the current ethical standards of the Republic of Uzbekistan. As this article is a literature review and does not involve patient data, separate approval by an ethics committee was not required. All sources of information have been properly cited and used in compliance with the principles of academic integrity.

Информированное согласие на публикацию

Информированное согласие было получено от всех участников исследования.

Consent for publication

Informed consent was obtained from all subjects involved in the study.

Заявление о доступности данных

Мы призываем всех авторов статей, опубликованных в журнале, делиться своими исследовательскими данными. В этом разделе, пожалуйста, укажите, где можно найти данные, поддерживающие представленные результаты, включая ссылки на общедоступные архивированные наборы данных, которые были проанализированы или сгенерированы в ходе исследования. Если новые данные не были созданы или данные недоступны из-за конфиденциальности или этических ограничений, необходимо предоставить соответствующее заявление.

Data Availability Statement

We encourage all authors of articles published in the journal to share their research data. In this section, please indicate where you can find data supporting the presented results, including links to publicly available archived datasets that were analyzed or generated during the study. If no new data has been created or the data is unavailable due to confidentiality or ethical restrictions, an appropriate statement must be provided.

Благодарности

Авторы выражают признательность коллегам кафедры медицинской радиологии Ташкентской медицинской академии и сотрудникам Республиканского научно-практического медицинского центра кардиологии за методическую и консультационную помощь при подготовке обзора. Особая благодарность выражается рецензентам журнала за их ценные замечания и рекомендации, способствовавшие улучшению качества рукописи.

Acknowledgments

The authors express their sincere gratitude to the colleagues from the Department of Medical Radiology of the Tashkent Medical Academy and the staff of the Republican Scientific and Practical Medical Center of Cardiology for their methodological and advisory support during the preparation of this review. Special thanks are extended to the journal reviewers for their valuable comments and recommendations that helped improve the quality of the manuscript.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interest

The authors declare no conflicts of interest.

Сокращения

ВОЗ	Всемирная организация здравоохранения
КТ	компьютерная томография
ЛПНП	липопротеиды низкой плотности
МРТ	магнитно-резонансная томография
ПЭТ	позитронно-эмиссионная томография
ТИА	транзиторная ишемическая атака
ТИМ	толщина комплекса интима-медиа
УЗИ	ультразвуковое исследование
ЦДК	цветное доплеровское картирование

Литература

- [1] Sorokoumov V, Savello A. Intracranial atherosclerosis: Causes of ischemic stroke, diagnosis, and treatment. *Nevrologiya, neiropsikhiatriya, psikhosomatikaю Neurology, Neuropsychiatry, Psychosomatics*. 2014;6(2S):50-55. (In Russ.) <https://doi.org/10.14412/2074-2711-2014-2S-50-55>.
- [2] Bos D, Arshi B, van den Bouwhuijsen QJA, Ikram MK, Selwaness M, Vernooij MW, Kavousi M, van der Lugt A. Atherosclerotic Carotid Plaque Composition and Incident Stroke and Coronary Events. *J Am Coll Cardiol*. 2021 Mar 23;77(11):1426-1435. <https://doi.org/10.1016/j.jacc.2021.01.038>.
- [3] Baradaran H, Gupta A. Extracranial Vascular Disease: Carotid Stenosis and Plaque Imaging. *Neuroimaging Clin N Am*. 2021 May;31(2):157-166. <https://doi.org/10.1016/j.nic.2021.02.002>.
- [4] Spence JD. Assessment of atherosclerosis: should coronary calcium score and intima-media thickness be replaced by ultrasound measurement of carotid plaque burden and vessel wall volume? *Curr Opin Lipidol*. 2023 Jun 1;34(3):126-132. <https://doi.org/10.1097/MOL.0000000000000880>.
- [5] Fedak A, Ciuk K, Urbanik A. Ultrasonography of vulnerable atherosclerotic plaque in the carotid arteries: B-mode imaging. *J Ultrason*. 2020;20(81):e135-e145. <https://doi.org/10.15557/JoU.2020.0022>.
- [6] Ignatyev IM, Gafurov MR, Krivosheeva NV. Criteria for Carotid Atherosclerotic Plaque Instability. *Ann Vasc Surg*. 2021 Apr;72:340-349. <https://doi.org/10.1016/j.avsg.2020.08.145>.
- [7] Scoutt LM, Gunabushanam G. Carotid Ultrasound. *Radiol Clin North Am*. 2019 May;57(3):501-518. <https://doi.org/10.1016/j.rcl.2019.01.008>.
- [8] Catalano O, Bendotti G, Aloï TL, Bardile AF, Memmi M, Gambelli P, Zanaboni D, Gualco A, Cattaneo E, Mazza A, Frascaroli M, Eshja E, Bellazzi R, Poggi P, Forni G, La Rovere MT. Evidence of Carotid Atherosclerosis Vulnerability Regression in Real Life From Magnetic Resonance Imaging: Results of the MAGNETIC Prospective Study. *J Am Heart Assoc*. 2023 Jan 17;12(2):e026469. <https://doi.org/10.1161/JAHA.122.026469>.
- [9] Benson JC, Saba L, Bathla G, Brinjikji W, Nardi V, Lanzino G. MR Imaging of Carotid Artery Atherosclerosis: Updated Evidence on High-Risk Plaque Features and Emerging Trends. *AJNR Am J Neuroradiol*. 2023 Aug;44(8):880-888. <https://doi.org/10.3174/ajnr.A7921>.
- [10] Maes L, Versweyveld L, Evans NR, McCabe JJ, Kelly P, Van Laere K, Lemmens R. Novel Targets for Molecular Imaging of Inflammatory Processes of Carotid Atherosclerosis: A Systematic Review. *Semin Nucl Med*. 2024 Sep;54(5):658-673. <https://doi.org/10.1053/j.semnuclmed.2023.10.004>.
- [11] Gardener H, Caunca MR, Dong C, Cheung YK, Elkind MSV, Sacco RL, Rundek T, Wright CB. Ultrasound Markers of Carotid Atherosclerosis and Cognition: The Northern Manhattan Study. *Stroke*. 2017 Jul;48(7):1855-1861. <https://doi.org/10.1161/STROKEAHA.117.016921>.
- [12] Piri R, Gerke O, Høilund-Carlson PF. Molecular imaging of carotid artery atherosclerosis with PET: a systematic review. *Eur J Nucl Med Mol Imaging*. 2020 Jul;47(8):2016-2025. <https://doi.org/10.1007/s00259-019-04622-y>.

- [13] Bengtsson A, Nyman E, Grönlund C, Wester P, Näslund U, Flärm E, Norberg M. Multi-view carotid ultrasound is stronger associated with cardiovascular risk factors than presence of plaque or single carotid intima media thickness measurements in subclinical atherosclerosis. *Int J Cardiovasc Imaging*. 2023 Aug;39(8):1461-1471. <https://doi.org/10.1007/s10554-023-02868-0>.
- [14] Dzaye O, Razavi AC, Dardari ZA, Nasir K, Matsushita K, Mok Y, Santilli F, Cobo AML, Johri AM, Albrecht G, Blaha MJ. Carotid Ultrasound-Based Plaque Score for the Allocation of Aspirin for the Primary Prevention of Cardiovascular Disease Events: The Multi-Ethnic Study of Atherosclerosis and the Atherosclerosis Risk in Communities Study. *J Am Heart Assoc*. 2024 Jun 18;13(12):e034718. <https://doi.org/10.1161/JAHA.123.034718>.
- [15] Saba L, Nardi V, Cau R, Gupta A, Kamel H, Suri JS, Balestrieri A, Congiu T, Butler APH, Giese S, Fanni D, Cerrone G, Sanfilippo R, Puig J, Yang Q, Mannelli L, Faa G, Lanzino G. Carotid Artery Plaque Calcifications: Lessons From Histopathology to Diagnostic Imaging. *Stroke*. 2022 Jan;53(1):290-297. <https://doi.org/10.1161/STROKEAHA.121.035692>.
- [16] Maggi P, Ricci ED, Muccini C, Galli L, Celesia BM, Ferrara S, Salameh Y, Basile R, Di Filippo G, Taccari F, Tartaglia A, Castagna A. Subclinical atherosclerosis as detected by carotid ultrasound and associations with cardiac and HIV-specific risk factors; the Archi-Prevalent project. *HIV Med*. 2023 May;24(5):596-604. <https://doi.org/10.1111/hiv.13448>.
- [17] Goudot G, Sitruk J, Jimenez A, Julia P, Khider L, Alsac JM, El Batti S, Bruneval P, Amemyia K, Pedreira O, Mortelette H, Calvet D, Tanter M, Mirault T, Pernot M, Messas E. Carotid Plaque Vulnerability Assessed by Combined Shear Wave Elastography and Ultrafast Doppler Compared to Histology. *Transl Stroke Res*. 2022 Feb;13(1):100-111. <https://doi.org/10.1007/s12975-021-00920-6>.
- [18] Roy Cardinal MH, Heusinkveld MHG, Qin Z, Lopata RGP, Naim C, Soulez G, Cloutier G. Carotid Artery Plaque Vulnerability Assessment Using Noninvasive Ultrasound Elastography: Validation With MRI. *AJR Am J Roentgenol*. 2017 Jul;209(1):142-151. <https://doi.org/10.2214/AJR.16.17176>.
- [19] Davidhi A, Rafailidis V, Destanis E, Prassopoulos P, Foinitsis S. Ultrasound Elastography: another piece in the puzzle of carotid plaque vulnerability? *Med Ultrason*. 2022 Aug 31;24(3):356-363. <https://doi.org/10.11152/mu-3190>.
- [20] Školoudík D, Kešnerová P, Vomáčka J, Hrbáč T, Netuka D, Forostyak S, Roubec M, Herzig R, Belšan T; ANTIQUE Trial Group. Shear-Wave Elastography Enables Identification of Unstable Carotid Plaque. *Ultrasound Med Biol*. 2021 Jul;47(7):1704-1710. <https://doi.org/10.1016/j.ultrasmedbio.2021.03.026>.
- [21] Sultan SR. The prevalence of extracranial carotid atherosclerosis detected via ultrasound imaging: A single-centre study in Jeddah, Saudi Arabia. *Saudi Med J*. 2024 Jan;45(1):69-73. <https://doi.org/10.15537/smj.2024.45.1.20230503>.
- [22] Benson JC, Nardi V, Bois MC, Saba L, Brinjikji W, Savastano L, Lanzino G, Lerman A. Correlation between computed tomography angiography and histology of carotid artery atherosclerosis: Can semi-automated imaging software predict a plaque's composition? *Interv Neuroradiol*. 2022 Jun;28(3):332-337. <https://doi.org/10.1177/15910199211031093>.
- [23] Haider A, Bengs S, Gebhard C, Fiechter M. Hybrid positron emission tomography and magnetic resonance imaging in carotid atherosclerosis: Not ready for prime time? *J Nucl Cardiol*. 2022 Dec;29(6):3458-3460. <https://doi.org/10.1007/s12350-020-02426-4>.
- [24] Van der Heiden K, Barrett HE, Meester EJ, van Gaalen K, Krenning BJ, Beekman FJ, de Blois E, de Swart J, Verhagen HJM, van der Lugt A, Norenberg JP, de Jong M, Bernsen MR, Gijsen FJH. SPECT/CT imaging of inflammation and calcification in human carotid atherosclerosis to identify the plaque at risk of rupture. *J Nucl Cardiol*. 2022 Oct;29(5):2487-2496. <https://doi.org/10.1007/s12350-021-02745-0>.
- [25] Wu G, Zhu C, Wang H, Fu D, Lu X, Cao C, Zhang X, Zhu J, Huang L, Mossa-Basha M, Xia S. Co-existing intracranial and extracranial carotid atherosclerosis predicts large-artery atherosclerosis stroke recurrence: a single-center prospective study utilizing combined head-and-neck vessel wall imaging. *Eur Radiol*. 2023 Oct;33(10):6970-6980. <https://doi.org/10.1007/s00330-023-09654-5>.
- [26] Faust O, Acharya UR, Sudarshan VK, Tan RS, Yeong CH, Molinari F, Ng KH. Computer aided diagnosis of Coronary Artery Disease, Myocardial Infarction and carotid atherosclerosis using ultrasound images: A review. *Phys Med*. 2017 Jan;33:1-15. <https://doi.org/10.1016/j.ejmp.2016.12.005>.

Отказ от ответственности/Примечание издателя: Заявления, мнения и данные, содержащиеся во всех публикациях, принадлежат исключительно отдельным лицам. Авторы и участники, а Журнал и редакторы. Журнал и редакторы не несут ответственности за любой ущерб, нанесенный людям или имуществу, возникшее в результате любых идей, методов, инструкций или продуктов, упомянутых в контенте.

Disclaimer of liability/Publisher's Note: The statements, opinions and data contained in all publications belong exclusively to individuals. The authors and participants, and the Journal and the editors. The journal and the editors are not responsible for any damage caused to people or property resulting from any ideas, methods, instructions or products mentioned in the content.