

**КОНТРАСТНО-УСИЛЕННАЯ МУЛЬТИСПИРАЛЬНАЯ
КОМПЬЮТЕРНАЯ ТОМОГРАФИЯ ВНУТРЕННЕЙ СОННОЙ АРТЕРИИ
В ДИАГНОСТИКЕ СТЕНОЗОВ, ОККЛЮЗИЙ И МОРФОЛОГИЧЕСКИХ
ХАРАКТЕРИСТИК АТЕРОСКЛЕРОТИЧЕСКИХ БЛЯШЕК:
ОДНОЦЕНТРОВОЕ ПРОСПЕКТИВНОЕ КЛИНИЧЕСКОЕ
ИССЛЕДОВАНИЕ**

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

^{1*} *Магистрант кафедры Медицинской радиологии Андижанского государственного медицинского института, 170127, г. Андижан, Узбекистан.
muslimbekdoktor@gmail.com*

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

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

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

АННОТАЦИЯ

Обоснование. Атеросклеротическое поражение внутренней сонной артерии является одной из ключевых причин ишемического инсульта. Для точной стратификации риска всё большее значение приобретают морфологические признаки атеросклеротических бляшек, включая кальцинаты, мягкотканые компоненты, тромботические наложения и признаки уязвимости. Современная контрастно-усиленная мультиспиральная компьютерная томография обеспечивает высокую пространственную разрешающую способность и позволяет комплексно оценивать просвет, стенку артерии и структуру бляшек.

Цель исследования. Оценить диагностическую точность контрастной мультиспиральной компьютерной томографии в выявлении стенозов, окклюзий и морфологических характеристик атеросклеротических бляшек внутренней сонной артерии и сравнить её информативность с ультразвуковой допплерографией.

Материалы и методы. Проведено одноцентровое проспективное исследование, включающее 20 пациентов в возрасте 42–76 лет с подозрением на

стеноз внутренней сонной артерии. Мультиспиральная компьютерная томография выполнялась в артериальной фазе после внутривенного болясного введения йодсодержащего контраста. Морфология бляшек классифицировалась как мягкая, смешанная или кальцинированная. Параллельно выполнялась ультразвуковая допплерография.

Результаты. Стенозы различной степени выявлены у 60% пациентов, частичные окклюзии — у 15%. Кальцинированные и смешанные бляшки обнаружены у 40% пациентов. Контрастная мультиспиральная компьютерная томография превосходила ультразвуковую допплерографию в определении структуры бляшек, выявлении дистальных сегментов и оценке протяжённости поражения, особенно при выраженному кальцинозе.

Заключение. Контрастно-усиленная мультиспиральная компьютерная томография является высокоинформативным методом диагностики поражений внутренней сонной артерии и должна рассматриваться в качестве предпочтительного инструмента при оценке сложных атеросклеротических бляшек, кальцинированных поражений и подозрении на *near-occlusion*.

Ключевые слова: Внутренняя сонная артерия, Атеросклеротическая бляшка, Компьютерная томографическая ангиография, Контрастное усиление, Морфология бляшки, Стеноз сонной артерии, Диагностическая визуализация, Ультразвуковая допплерография.

ABSTRACT

Background: Atherosclerotic disease of the internal carotid artery is a major cause of ischemic stroke. Beyond luminal narrowing, morphological characteristics of atherosclerotic plaques — including soft-tissue components, calcifications, thrombotic elements, and features of plaque vulnerability — are critical predictors of cerebrovascular risk. Contrast-enhanced multidetector computed tomography provides high spatial resolution and enables comprehensive assessment of the arterial lumen, vessel wall, and plaque composition.

Purpose: To evaluate the diagnostic accuracy of contrast-enhanced multidetector computed tomography in detecting stenosis, occlusion, and morphological characteristics of internal carotid artery plaques, and to compare its performance with duplex ultrasonography.

Materials and Methods: A prospective single-center study included 20 patients aged 42–76 years with suspected internal carotid artery stenosis. Contrast-enhanced multidetector computed tomography was performed in the arterial phase after bolus intravenous injection of an iodinated contrast agent. Plaque morphology was classified as soft, mixed, or calcified. All patients additionally underwent duplex ultrasonography for comparative analysis.

Results: Stenoses of varying severity were detected in 60% of patients, and partial

occlusions in 15%. Calcified or mixed plaques were identified in 40% of cases. Multidetector computed tomography demonstrated superior performance compared with ultrasonography in assessing plaque structure, visualizing distal segments, and determining stenosis length, particularly in cases with marked calcification.

Conclusions: Contrast-enhanced multidetector computed tomography is a highly informative modality for the evaluation of internal carotid artery atherosclerotic disease and outperforms duplex ultrasonography in diagnostically challenging cases, including calcified plaques and suspected near-occlusion. The method should be considered an essential component of preoperative planning and comprehensive cerebrovascular risk assessment.

Keywords: Carotid artery; Atherosclerotic plaque; Computed tomography angiography; Contrast enhancement; Plaque morphology; Carotid stenosis; Imaging diagnostics; Duplex ultrasonography

ВВЕДЕНИЕ

Атеросклеротическое поражение внутренней сонной артерии (ВСА) является одной из ведущих причин ишемического инсульта, который остаётся значимой причиной смертности и инвалидизации во всём мире. Выраженность стеноза долгое время считалась основным фактором риска инсульта, формируя основу клинических рекомендаций и хирургической тактики. Однако современные данные демонстрируют, что степень сужения просвета ВСА не всегда отражает истинный риск, тогда как морфология атеросклеротической бляшки приобретает первостепенное значение в прогнозировании цереброваскулярных событий⁵.

Считается, что уязвимые бляшки — содержащие мягкотканый компонент, липидное ядро, кровоизлияние, тромботические наложения или поверхностную дисрупцию — ассоциированы с более высоким риском эмболизации и инсульта, чем стабильные кальцинированные поражения. Исследования последних лет подтверждают, что такие морфологические характеристики оказываются более значимыми для стратификации риска, чем процент стеноза⁵. В этой связи в клиническую практику активно внедряются методы визуализации, позволяющие детализированно оценивать структуру бляшки.

Контрастно-усиленная мультиспиральная компьютерная томография (КТ-ангиография) стала одним из ключевых методов визуализации сонных артерий благодаря высокой пространственной разрешающей способности, возможности получения тонких срезов (менее 1 мм) и применению многоплоскостных реконструкций. Она позволяет одновременно оценивать просвет артерии, структуру стенки и характер кальцинатов, что обеспечивает более точную морфологическую диагностику по сравнению с ультразвуковой

допплерографией, особенно при выраженному кальцинозе⁵.

Однако даже при высокой информативности стандартная КТ-ангиография имеет ограниченную чувствительность в выявлении near-occlusion — критически выраженного стеноза с «нитевидным» дистальным сегментом. По данным Johansson и соавт., чувствительность рутинной КТА для near-occlusion может составлять лишь около 20%, что приводит к риску диагностических ошибок и неправильной тактики лечения¹. Эта проблема подчёркивает необходимость расширенных протоколов исследования.

Мультифазная КТ-ангиография (mCTA), включающая последовательное получение артериальной, порталной и поздней фаз, демонстрирует значительно более высокую чувствительность для выявления псевдоокклюзии и дифференциации её от истинной окклюзии. Исследования Choi et al. и последующие дискуссионные публикации показали, что чувствительность mCTA достигает 94%, что делает её предпочтительным методом при сложных диагностических сценариях²⁻⁴.

Помимо временных фаз, важную роль играют новые технологии КТ-визуализации. Black-blood СТ позволяет подавлять сигнал от просвета сосуда, что улучшает визуализацию стенки и структуры бляшки, делая метод сопоставимым с магнитно-резонансной томографией для оценки морфологии поражений⁶. Спектральная (dual-layer) КТ обеспечивает анализ энергетического спектра ткани, что повышает точность определения состава бляшки и помогает дифференцировать симптомные и асимптомные поражения⁷. Эти технологии открывают возможности количественной оценки уязвимости бляшки.

Ультразвуковая допплерография по-прежнему широко используется как первичный метод диагностики благодаря своей доступности и отсутствию лучевой нагрузки. Однако её диагностическая точность ограничена при выраженных кальцинатах, глубокой бифуркации сонной артерии или необходимости оценки дистального сегмента ВСА. В таких случаях КТ-ангиография позволяет получить критически важную информацию, недоступную при УЗДГ⁵.

Международные руководства подчеркивают необходимость стандартизации визуализационных протоколов, внедрения морфологических критериев и гармонизации подходов к измерению степени стеноза. Консенсусные документы Международного союза ангиологии (IUA) и Европейского общества сердечно-сосудистой радиологии (ESCR) рекомендуют включать в рутинную практику оценку морфологических маркеров, таких как мягкотканый компонент, кальцинаты, тромбоз, неровность поверхности и энергетические характеристики бляшки⁸⁻⁹. Это отражает современную парадигму, в которой визуализация стенки артерии и структуры бляшки

становится ключевым элементом диагностики и стратификации риска.

Учитывая значимость морфологии бляшки и потребность в точной оценке степени стеноза и окклюзии, особенно при кальцинированных и смешанных поражениях, возникает необходимость объективного сравнительного анализа возможностей контрастно-усиленной мультиспиральной КТ и ультразвуковой допплерографии.

Целью данного исследования является оценка диагностической информативности контрастной мультиспиральной компьютерной томографии в выявлении морфологических изменений внутренней сонной артерии и сравнительный анализ её возможностей с ультразвуковой допплерографией.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Дизайн исследования

Исследование выполнено как проспективное одноцентровое наблюдательное клиническое исследование, направленное на оценку диагностической эффективности контрастно-усиленной мультиспиральной компьютерной томографии в сравнении с ультразвуковой допплерографией при выявлении стенозов, окклюзий и морфологических характеристик атеросклеротических бляшек внутренней сонной артерии. Протокол был утвержден локальным этическим комитетом, и все пациенты подписали информированное согласие.

Популяция исследования

В исследование включено 20 пациентов в возрасте 42–76 лет, направленных на визуализационную диагностику в связи с подозрением на стеноз или атеросклеротическое поражение внутренней сонной артерии. Пациенты обследовались последовательно.

В исследование включались пациенты в возрасте 40 лет и старше, у которых имелось клиническое подозрение на стеноз или атеросклеротическое поражение внутренней сонной артерии. Основанием для направления являлись симптомы, соответствующие цереброваскулярной недостаточности, а также решение лечащего врача о необходимости мультиспиральной компьютерной томографии в соответствии с установленными клиническими рекомендациями. Пациенты с аллергией на йодсодержащие контрастные препараты, сниженной скоростью клубочковой фильтрации менее 45 мл/мин/1,73 м², невозможностью выполнения ультразвуковой допплерографии или выраженной декомпенсацией сопутствующих заболеваний исключались из исследования.

Мультиспиральная компьютерная томография выполнялась на 64-срезовом томографе в артериальной фазе. Использовался стандартный протокол с напряжением рентгеновской трубы 120 кВ и автоматической модуляцией тока. Толщина срезов составляла 0,6–1,0 мм, шаг реконструкции — 0,5 мм, матрица

изображения — 512×512 пикселей, а поле обзора — 160–180 мм. Контрастное усиление осуществляли внутривенным болясным введением йодсодержащего препарата из расчёта 1,2 мл/кг массы тела со скоростью 4 мл/с. Активация сканирования происходила по триггеру при достижении плотности 120 HU в области внутренней сонной артерии. После получения первичных данных выполнялись аксиальные, сагиттальные и коронарные реконструкции, а также МИР-проекции для оценки просвета сосуда и VR-реконструкции для анализа хода артерии. Кальцинаты оценивались полуколичественным методом на основе плотностных характеристик.

Ультразвуковая допплерография проводилась линейным датчиком с частотой 7–12 МГц. Исследование включало регистрацию пиковой систолической и конечной диастолической скорости кровотока, спектральный анализ, оценку постстенотической турбулентности, визуализацию атеросклеротической бляшки и определение её структуры. Особое внимание уделялось возможности визуализировать стенозы дистальнее бифуркации сонной артерии.

Изображения мультиспиральной компьютерной томографии и ультразвуковой допплерографии анализировались двумя независимыми рентгенологами, не осведомлёнными о результатах друг друга. Степень стеноза определялась по критериям NASCET. Морфология атеросклеротической бляшки классифицировалась как мягкая, смешанная или кальцинированная. Особая группа включала near-occlusion, которую определяли на основании выраженного сужения с характерным «нитевидным» дистальным сегментом внутренней сонной артерии.

Согласованность между наблюдателями оценивалась с использованием коэффициента карра.

РЕЗУЛЬТАТЫ

1. Демографические и клинические характеристики

Таблица 1. Характеристики пациентов

Показатель	Значение
Число пациентов	20
Средний возраст	$61,3 \pm 8,7$ лет
Мужчины	65%
Артериальная гипертензия	70%
Дислипидемия	55%
Активное курение	40%
Сахарный диабет	25%
Предыдущие ТИА/инфаркт	20%

2. Морфология атеросклеротических поражений

Распределение степени стенозов (NASCET)

Степень	Число пациентов
Лёгкий стеноз (30–49%)	5
Умеренный (50–69%)	4
Выраженный (70–75%)	3
Частичная окклюзия	3

Типы бляшек:

- мягкие — 2 пациента
- смешанные — 3 пациента
- кальцинированные — 3

пациента

Инфографика А — Распределение типов бляшек

- сектора круговой диаграммы отражают долю мягких, смешанных и кальцинированных бляшек
- визуальное сравнение подчёркивает преобладание смешанных и кальцинированных типов



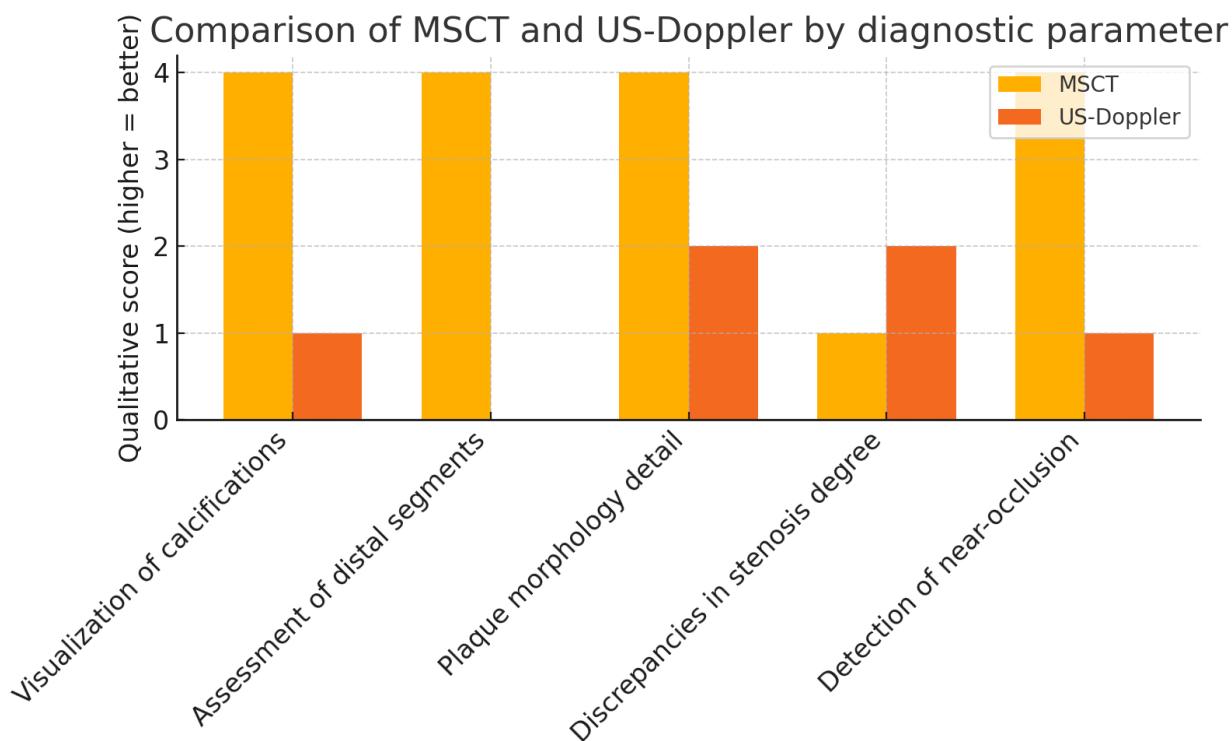
3. Сравнение методов визуализации

Таблица 2. Сопоставление МСКТ и УЗДГ

Параметр анализа	МСКТ	УЗДГ
Визуализация кальцинатов	Отличная	Ограничена
Оценка дистальных сегментов	Выполнима	В большинстве случаев невозможна
Определение структуры бляшки	Чёткая детализация	Часто ограничена
Расхождения в определении степени стеноза	—	25% случаев
Возможность выявления near-occlusion	Высокая	Низкая

Инфографика В — Сравнительная диаграмма точности

столбчатая диаграмма показывает превосходство МСКТ по 5 ключевым параметрам



4. Межнаблюдательная согласованность

- $\kappa = 0,82$ — высокая степень согласия между экспертами
- максимальная согласованность наблюдалась при оценке кальцинатов и степени стеноза
- меньшая — при классификации смешанных бляшек

ОБСУЖДЕНИЕ

Полученные результаты подтверждают растущую роль морфологически ориентированной визуализации при оценке атеросклеротических поражений внутренней сонной артерии. В нашей когорте 20 пациентов 40% случаев были связаны с кальцинированными и смешанными бляшками, что сопоставимо с данными предыдущих исследований и подчёркивает клиническую значимость оценки состава бляшки⁵. Контрастно-усиленная мультиспиральная компьютерная томография продемонстрировала превосходство в визуализации кальцинатов и структурных компонентов бляшки по сравнению с ультразвуковой допплерографией, особенно в случаях выраженного кальциоза, когда ультразвук ограничен в визуализации.

Наши наблюдения также отражают проблему диагностической недооценки near-occlusion при использовании стандартной компьютерной томографии: в литературе чувствительность рутинной КТА для near-occlusion оценивается как низкая¹, тогда как мультифазная компьютерная томография значительно увеличивает точность в дифференциации истинной окклюзии и

псевдоокклюзии²⁻⁴. Хотя в текущей серии использовалась артериальная фаза, тонкосрезовые реконструкции и 3D-режимы обеспечили достаточное разрешение для идентификации частичных окклюзий и оценки дистальных сегментов.

Высокая межнаблюдательная согласованность (карра = 0,82) подтверждает воспроизводимость оценки МСКТ в рамках протокола нашего центра и указывает на потенциал стандартизации интерпретации изображений. Это особенно важно при внедрении морфологических критериев в клиническую практику в соответствии с рекомендациями международных экспертных групп⁸⁻⁹.

Ограничения исследования включают небольшой размер выборки, одноцентровый характер и отсутствие прямого сравнения с магнитно-резонансной ангиографией или мультифазной компьютерной томографией в полном объёме. Также не проводился длительный клинический последующий мониторинг для корреляции морфологических параметров бляшки с исходами инсульта. Будущие исследования должны включать более крупные многоцентровые когорты, количественную оценку состава бляшки с использованием спектральных и photon-counting технологий, а также анализ исходов.

ВЫВОДЫ

1. Контрастно-усиленная мультиспиральная компьютерная томография обеспечивает высокую точность в выявлении степени стеноза, окклюзий и морфологических характеристик атеросклеротических бляшек внутренней сонной артерии.

2. Мультиспиральная компьютерная томография превосходит ультразвуковую допплерографию в визуализации кальцинатов, оценке дистальных сегментов и детальном описании морфологии бляшки, что особенно важно при планировании хирургических и эндоваскулярных вмешательств.

3. Высокая межнаблюдательная согласованность подтверждает воспроизводимость метода при соблюдении стандартизованных протоколов.

4. Для полноценной клинической валидации рекомендуется дальнейшее многоцентровое исследование с использованием мультифазной и спектральной компьютерной томографии, сравнением с магнитно-резонансной ангиографией и анализом клинических исходов.

Список литератур:

1. Johansson E, Gu T, Aviv R, Fox A. Carotid near-occlusion is often overlooked when CT angiography is assessed in routine practice. *Eur Radiol.* 2020;30. doi:10.1007/s00330-019-06636-4

2. Choi J, Jang J, Koo J, et al. Multiphasic Computed Tomography Angiography Findings for Identifying Pseudo-Occlusion of the Internal Carotid Artery. *Stroke*. 2020;51. doi:10.1161/STROKEAHA.120.029512
3. Goyal M, Ospel J. Letter by Goyal and Ospel Regarding Article “Multiphasic Computed Tomography Angiography Findings for Identifying Pseudo-Occlusion of the Internal Carotid Artery.” *Stroke*. 2020. doi:10.1161/STROKEAHA.120.031576
4. Choi J, Jang J. Response to Letter Regarding Article “Multiphasic Computed Tomography Angiography Findings for Identifying Pseudo-Occlusion of the Internal Carotid Artery.” *Stroke*. 2020. doi:10.1161/STROKEAHA.120.032093
5. Baradaran H, Eisenmenger L, Hinckley P, et al. Optimal Carotid Plaque Features on CTA Associated With Ischemic Stroke. *J Am Heart Assoc*. 2021;10. doi:10.1161/JAHA.120.019462
6. Lu Y, Cao R, Jiao S, et al. A novel method of carotid artery wall imaging: black-blood CT. *Eur Radiol*. 2023;34. doi:10.1007/s00330-023-10247-5
7. Zhang J, Li S, Wu L, et al. Application of Dual-Layer Spectral-Detector CTA in Identifying Symptomatic Carotid Atherosclerosis. *J Am Heart Assoc*. 2024;13. doi:10.1161/JAHA.123.032665
8. Saba L, Antignani P, Gupta A, et al. IUA consensus paper on imaging strategies in atherosclerotic carotid artery disease. *Atherosclerosis*. 2022;354. doi:10.1016/j.atherosclerosis.2022.06.1014
9. Saba L, Loewe C, Weikert T, et al. State-of-the-art CT and MR imaging... ESCR consensus. *Eur Radiol*. 2022;33. doi:10.1007/s00330-022-09024-7