

Двухэнергетическая компьютерно-томографическая ангиография в определении стабильных и нестабильных компонентов атеросклеротических бляшек: сравнительный анализ с результатами гистологического исследования

© Галяутдинова Л.Э. *, Мамедова М.М., Гончарова Е.А., Басек И.В., Алексеева Д.В., Митрофанова Л.Б., Труфанов Г.Е., Ванюркин А.Г., Чернявский М.А.

ФГБУ “Национальный медицинский исследовательский центр им. В.А. Алмазова” Минздрава России;
197341 Санкт-Петербург, ул. Аккуратова, д. 2, Российская Федерация

В последние годы появилось достаточно много публикаций, в которых все больше данных связывают развитие ишемических событий с признаками нестабильности атеросклеротической бляшки и все больше внимания уделяется возможностям неинвазивной визуализации признаков нестабильности, в том числе с применением двухэнергетической компьютерной томографии (ДЭКТ).

Цель исследования: оценка возможностей ДЭКТ-ангиографии в идентификации и дифференциации компонентов атеросклеротической бляшки сонной артерии, а также их сравнительный анализ с данными гистологического исследования.

Материал и методы. В исследование включено 30 пациентов, госпитализированных в ФГБУ “НМИЦ им. В.А. Алмазова” Минздрава России для проведения плановой каротидной эндартерэктомии. Все пациенты подписали информированное согласие на участие в исследовании. Пациентам была выполнена предоперационная ДЭКТ-ангиография брахиоцефальных артерий. После оперативного вмешательства резецированные бляшки подвергались гистологическому анализу с морфологической идентификацией ключевых компонентов: фиброзного, липидно-некротического, геморрагического и смешанного. Сопоставление данных ДЭКТ с гистологическими срезами проводилось на уровне соответствующих зон интереса (ROI). Статистическая обработка выполнялась с использованием пакета Jamovi; применялся дисперсионный анализ с применением критерия Тьюки для оценки межгрупповых различий.

Результаты. По данным гистологического анализа идентифицировано 72 ключевых компонента бляшки, включая фиброзный ($n = 18$), липидно-некротическое ядро ($n = 28$), кровоизлияние ($n = 8$) и смешанный ($n = 18$) компоненты. Средние значения минимального Z-effective при попарном сравнении оказались достоверно выше в фиброзных участках по сравнению с липидно-некротическим ядром ($p < 0,001$), кровоизлиянием ($p < 0,01$) и смешанным компонентом ($p < 0,05$). Установлен диагностический порог минимального Z-effective $\geq 7,7$, позволяющий с высокой чувствительностью (85,2%) и специфичностью (88,9%) дифференцировать стабильный фиброзный компонент от липидного ядра, кровоизлияния и смешанного компонента как признаков нестабильности. Статистически значимые различия между нестабильными компонентами не выявлены.

Заключение. Двухэнергетическая КТ-ангиография демонстрирует высокую диагностическую ценность для неинвазивной дифференциации стабильного и нестабильных компонентов атеросклеротических бляшек. Целесообразны дальнейшие исследования на более расширенной выборке для уточнения пороговых значений и стандартизации методики.

Ключевые слова: двухэнергетическая компьютерная томография; атеросклеротические бляшки сонных артерий; нестабильность атеросклеротических бляшек; структурный анализ бляшки

Авторы подтверждают отсутствие конфликтов интересов.

Для цитирования: Галяутдинова Л.Э., Мамедова М.М., Гончарова Е.А., Басек И.В., Алексеева Д.В., Митрофанова Л.Б., Труфанов Г.Е., Ванюркин А.Г., Чернявский М.А. Двухэнергетическая компьютерно-томографическая ангиография в определении стабильных и нестабильных компонентов атеросклеротических бляшек: сравнительный анализ с результатами гистологического исследования. *Медицинская визуализация*. 2026; 30 (1): 33–40. <https://doi.org/10.24835/1607-0763-1587>

Поступила в редакцию: 16.07.2025. Принята к печати: 10.10.2025. Опубликовано online: 16.02.2026.



Dual-energy computed tomography angiography in identifying stable and unstable components of atherosclerotic plaque: a comparative analysis with histological findings

© Lina E. Galyautdinova*, Milena M. Mamedova, Ekaterina A. Goncharova, Ilona V. Basek, Darya V. Alekseeva, Lyubov B. Mitrofanova, Gennadii E. Trufanov, Almaz G. Vanyurkin, Mihail A. Chernyavskiy

Almazov National Medical Research Center of the Ministry of Healthcare of the Russian Federation; 2, Akkuratova str., Saint-Petersburg 197341, Russian Federation

In recent years, an increasing number of publications have linked ischemic events to features of atherosclerotic plaque instability, drawing growing attention to the potential of noninvasive imaging modalities for detecting such features, including dual-energy computed tomography (DECT).

Objective: to assess the capabilities of dual-energy computed tomography angiography (DECT angiography) in identifying and differentiating components of carotid atherosclerotic plaques and to compare these findings with histological analysis.

Materials and Methods. The study comprised 30 patients admitted to the Almazov National Medical Research Centre (Ministry of Health of the Russian Federation) for planned carotid endarterectomy. All patients provided written informed consent to participate. Preoperative DECT angiography of the brachiocephalic arteries was performed. Resected plaques underwent histological analysis to morphologically identify key components: fibrous, lipid-rich necrotic core, hemorrhagic, and mixed. Correlation between DECT data and histological sections was conducted at corresponding regions of interest (ROI). Statistical analysis was performed using the Jamovi software package, employing analysis of variance (ANOVA) with Tukey's post hoc test for intergroup comparisons.

Results. Histological examination identified 72 key plaque components: fibrous ($n = 18$), lipid-rich necrotic core ($n = 28$), intraplaque hemorrhage ($n = 8$) and mixed components ($n = 18$). Mean minimum Z-effective values were significantly higher in fibrous regions compared to lipid-necrotic cores ($p < 0.001$), hemorrhagic areas ($p < 0.01$), and mixed components ($p < 0.05$). A diagnostic threshold of minimum Z-effective ≥ 7.7 was established, enabling differentiation of stable fibrous components from lipid-rich necrotic cores, intraplaque hemorrhages and mixed components—features of plaque instability—with high sensitivity (85.2%) and specificity (88.9%). No statistically significant differences were found among the unstable plaque components.

Conclusions. Dual-energy CT angiography demonstrates high diagnostic value for the noninvasive differentiation of stable and unstable components of atherosclerotic plaques. Further studies with larger patient cohorts are suggested to refine threshold values and standardize the methodology.

Keywords: dual-energy computed tomography; carotid atherosclerotic plaques; plaque instability; plaque structural analysis

Conflict of interest. The authors declare no conflict of interest. The study had no sponsorship.

For citation: Galyautdinova L.E., Mamedova M.M., Goncharova E.A., Basek I.V., Alekseeva D.V., Mitrofanova L.B., Trufanov G.E., Vanyurkin A.G., Chernyavsky M.A. Dual-energy computed tomography angiography in identifying stable and unstable components of atherosclerotic plaque: a comparative analysis with histological findings. *Medical Visualization*. 2026; 30 (1): 33–40. <https://doi.org/10.24835/1607-0763-1587>

Received: 16.07.2025.

Accepted for publication: 10.10.2025.

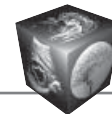
Published online: 16.02.2026.

Введение

По данным Всемирной организации по борьбе с инсультом (World Stroke Organization), ежегодно в мире регистрируется 12 млн случаев инсультов, 65% из них относятся к ишемическим (99 на 100 тыс. населения); смертность от ишемического инсульта составляет 46 на 100 тыс. населения в год [1]. Несмотря на тенденцию к снижению распростра-

ненности, заболеваемости и смертности от ишемического инсульта, прогнозируется тенденция к росту заболеваемости в течение следующих двух десятилетий [2].

Атеросклеротическое поражение брахиоцефальных артерий остается одной из основных причин развития ишемического инсульта и транзиторной ишемической атаки (ТИА) [3, 4].



Современные исследования связывают риск развития ишемического инсульта не только со степенью стеноза на уровне атеросклеротической бляшки, но и с наличием признаков ее нестабильности. В связи с этим возрос интерес к визуализационным возможностям преимущественно неинвазивных методов исследования, таких как ультразвуковое исследование (УЗИ), магнитно-резонансная томография (МРТ) и компьютерная томография (КТ). Последние исследования акцентируют внимание на проведении детального анализа атеросклеротических бляшек на предмет выявления ключевых признаков нестабильности, таких как кровоизлияние, изъязвление, липидно-некротическое ядро с тонкой фиброзной покрышкой, а также неоваскуляризации [5].

УЗИ является наиболее широко используемым методом диагностики атеросклеротического поражения брахиоцефальных артерий, применение которого позволяет определить степень стеноза, оценить пиковую систолическую скорость в области атеросклеротической бляшки, наличие гипоехогенности бляшки как признака липидно-некротического ядра. К преимуществам УЗИ относят широкую доступность, скорость выполнения исследования, оценку гемодинамики при доплерографии, отсутствие противопоказаний к проведению исследования. Однако УЗИ имеет ряд ограничений, в том числе в определении признаков нестабильности, являясь операторозависимым методом, возможности метода ограничены в количественной оценке, визуализацию также затрудняют акустические тени в кальцинированных бляшках [6]. В последние годы внедрение контрастного усиления позволило расширить диагностические возможности УЗИ. Контрастное УЗИ позволяет оценить наличие неоваскуляризации в бляшке, неровного контура и изъязвлений [7]. Тем не менее существуют ограничения применения УЗИ с контрастированием в связи с большей операторозависимостью и увеличением артефактов, а также технической сложностью интерпретации полученных данных, что сдерживает широкое внедрение данного подхода в рутинную клиническую практику [8].

МРТ в настоящее время является одним из наиболее информативных неинвазивных методов диагностики бляшек высокого риска и позволяет визуализировать внутрибляшечное кровоизлияние, большое липидно-некротическое ядро с тонкой фиброзной покрышкой, изъязвления и др. Несмотря на высокую информативность и диагностическую ценность МРТ в оценке нестабильных атеросклеротических бляшек, данный метод име-

ет ряд существенных ограничений, таких как высокая стоимость и длительная продолжительность исследования, чувствительность к артефактам, возникающим при движении пациента, необходимость введения контрастного препарата для визуализации некоторых признаков нестабильности, а также абсолютные противопоказания для пациентов с ферромагнитными имплантами [6].

КТ является методом выбора в диагностике стеноза сонных артерий. Она обладает относительно широкой доступностью и скоростью выполнения исследования. КТ-ангиография позволяет не только с высокой точностью оценить наличие и степень стеноза, но и определить тип атеросклеротической бляшки, оценить кальцификацию, определить наличие и протяженность изъязвлений. Однако КТ уступает МРТ в визуализации фиброзной покрышки, характеристике мягкотканых компонентов бляшки и оценке таких признаков нестабильности, как большое липидное некротическое ядро и кровоизлияние, не позволяет дифференцировать их от стабильного фиброзного компонента в связи с частичным перекрытием плотностных характеристик, а также снижением точности оценки мягкотканного компонента в связи с артефактами от кальцинатов [8]. К недостаткам КТ-ангиографии также относят необходимость введения йодсодержащего контрастного препарата и ионизирующее излучение [6].

В последние годы возрос интерес к двухэнергетической КТ (ДЭКТ), которая основана на регистрации рентгеновского излучения при двух различных уровнях энергии, что позволяет проводить спектральный анализ поглощения фотонов различными тканями. В ряде публикаций подчеркивается, что применение ДЭКТ способствует снижению выраженности артефактов, обусловленных кальцификацией бляшек, обеспечивая более точную визуализацию сосудистой стенки и измерение степени стеноза, а также снижение лучевой нагрузки [8]. Кроме того, некоторые исследования указывают на более высокую диагностическую значимость ДЭКТ по сравнению со стандартной методикой в выявлении признаков нестабильности бляшек [9–11]. К недостаткам относится отсутствие единого алгоритма визуализации и оценки нестабильности атеросклеротической бляшки, учитывающего возможности ДЭКТ.

Цель исследования: оценка возможностей ДЭКТ-ангиографии в идентификации и дифференциации компонентов атеросклеротической бляшки сонных артерий и проведение сравнительного анализа с данными гистологического исследования.



Материал и методы

В исследовании приняло участие 30 человек (17 мужчин и 13 женщин) в возрасте от 41 года до 78 лет (средний возраст $68,0 \pm 9,0$ лет). Все пациенты подписали добровольное информированное согласие на участие в исследовании.

Всем пациентам выполнена ДЭКТ-ангиография брахиоцефальных артерий на компьютерном томографе SOMATOM Force (Siemens). Двухэнергетический протокол сканирования: напряжение на трубке А – 90 кВ, на трубке В – 150 кВ, питч 0,7, реконструкция полученных данных толщиной 0,75 мм.

Постобработка изображений проводилась на мультимодальной рабочей станции syngo.via в приложении Dual Energy. В классе приложений RhoZ в исследуемой области (ROI) атеросклеротической бляшки определялись средняя, максимальная и минимальная плотность при напряжении на трубке А – 90 кВ, на трубке В – 150 кВ, при среднем напряжении, а также средний, максимальный и минимальный Z-effective (средний атомный номер в исследуемой области) и двухэнергетический индекс (DEI).

Всем пациентам по показаниям была выполнена каротидная эндартерэктомия. Показанием к оперативному лечению было наличие стеноза на уровне каротидной бифуркации, в том числе по данным КТ, >60% по диаметру у асимптомных и >50% по диаметру у симптомных пациентов (с наличием острого нарушения мозгового крово-

обращения или ТИА в анамнезе) [12]. Полученные при каротидной эндартерэктомии атеросклеротические бляшки были погружены в 10% раствор формалина и отправлены на гистологическое исследование. Этапы обработки микропрепарата включали стандартную подготовку, декальцинацию атеросклеротической бляшки в декальцинирующем растворе на основе соляной и муравьиной кислоты в течение 24 ч, окрашивание препарата гематоксилином и эозином. Оценка макро- и микропрепаратов проводилась врачом-патологоанатомом. Для обеспечения пространственной корреляции между морфологическим анализом с последующим сопоставлением с данными ДЭКТ макропрепарат подвергался серийному срезу с фиксированным интервалом 0,5 см. Совместно с врачом-патологоанатомом выполнялся более детализированный анализ наиболее крупных участков атеросклеротической бляшки с разметкой ее ключевых компонентов: фиброзный компонент и такие признаки нестабильности, как кровоизлияние, липидное некротическое ядро, а также смешанный компонент с наличием кровоизлияния и/или липидно-некротического ядра.

Следующим этапом проведено сопоставление данных гистологического исследования с результатами ДЭКТ путем выделения области интереса (ROI) на компьютерных томограммах согласно размеченным компонентам атеросклеротической бляшки отдельно для каждого уровня гистологических срезов (рис. 1, 2). При этом фиксировались

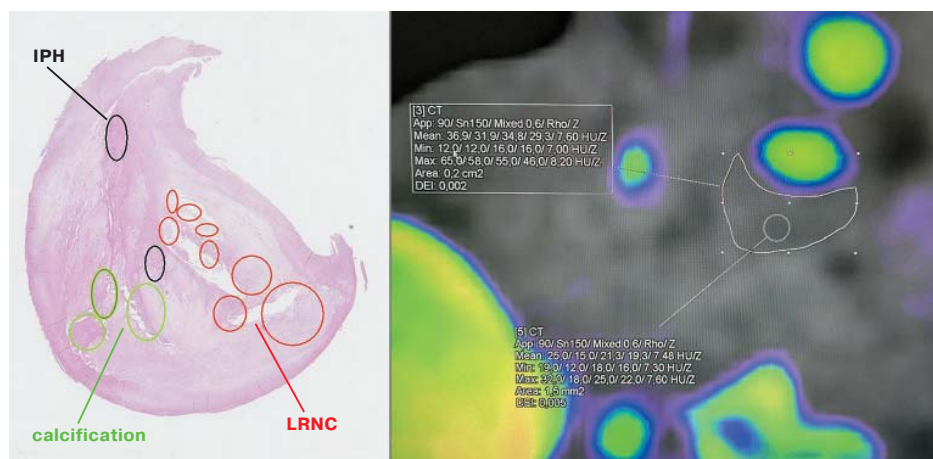


Рис. 1. Слева фото микропрепарата атеросклеротической бляшки с разметкой ключевых компонентов: внутрибляшечное кровоизлияние (IPH-intraplaque hemorrhage) – черным, липидное некротическое ядро (LRNC – lipid-rich necrotic core) – красным, кальцификации – зеленым. Окрашка гематоксилином и эозином, $\times 5$. Справа ДЭКТ в приложении RhoZ, выделена область всего среза атеросклеротической бляшки, округлая зона интереса в области липидного некротического ядра.

Fig. 1. Left – microphotograph of an atherosclerotic plaque with marked key components: intraplaque hemorrhage (IPH – black), lipid-rich necrotic core (LRNC – red), calcifications (green). Staining with hematoxylin and eosin, $\times 5$. Right – DECT image in the RhoZ application with a circular ROI over the lipid-rich necrotic core region.

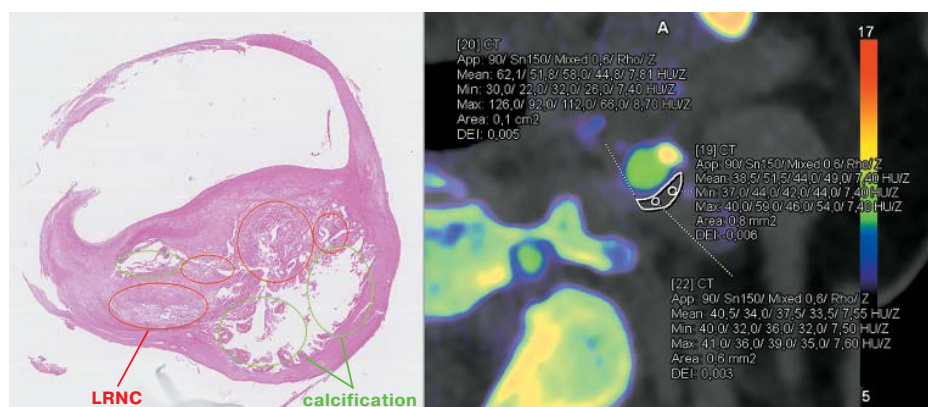
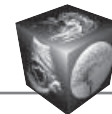


Рис. 2. Слева фото микропрепарата атеросклеротической бляшки с разметкой ключевых компонентов: липидное некротическое ядро (LRNC – lipid-rich necrotic core) – красным, кальцификации – зеленым. Окраска гематоксилином и эозином, $\times 5$. Справа ДЭКТ в приложении RhoZ, выделена область всего среза атеросклеротической бляшки, окружающая зона интереса в области липидного некротического ядра.

Fig. 2. Left – microphotograph of an atherosclerotic plaque with marked key components: lipid-rich necrotic core (LRNC – red), calcifications (green). Staining with hematoxylin and eosin, $\times 5$. Right – DECT image in the RhoZ application with a circular ROI over the lipid-rich necrotic core region.

количественные показатели в области интереса: плотностные характеристики при напряжении на рентгеновской трубке А 90 кВ и на трубке В 150 кВ, максимальный, средний и минимальный Z-effective, DEI.

Статистический анализ полученных результатов проводился с помощью программного обеспечения jamovi 2.4.14. В рамках статистического анализа использовалось параметрическое представление полученных при ДЭКТ величин в виде среднего арифметического значения и стандартного отклонения ($M \pm \sigma$). Для межгруппового сравнения значений указанных параметров в выборках, соответствующих различным компонентам бляшки, применялся дисперсионный анализ с применением критерия Тьюки для оценки парных различий между группами.

Результаты и их обсуждение

В ходе гистологического исследования получено 72 образца срезов атеросклеротических бляшек сонных артерий. При детальном морфологическом анализе на срезах верифицированы ключевые признаки нестабильности: наличие внутрибляшечного кровоизлияния ($n = 8$), липидно-некротического ядра ($n = 28$), а также смешанного компонента с липидным ядром и/или кровоизлиянием ($n = 18$). Также был идентифицирован фиброзный компонент ($n = 18$), рассматриваемый как признак относительной морфологической стабильности.

При анализе и выделении ROI на ДЭКТ-срезах в соответствующих гистологическим срезам об-

ластях получены количественные характеристики компонентов атеросклеротических бляшек (см. рис. 1). В качестве основных параметров использовались плотностные показатели в единицах Хаунсфилда (HU) при напряжении 90 кВ, 150 кВ, а также плотность при усредненном напряжении. Кроме того, использовался максимальный, средний и минимальный эффективный атомный номер (Z-effective). Средние арифметические значения и стандартное отклонение указанных параметров представлены в таблице.

Из таблицы следует, что наибольшими плотностными характеристиками обладает фиброзный компонент, следующим по плотности представлено липидное некротическое ядро и наименьшими плотностными характеристиками обладает внутрибляшечное кровоизлияние, что соотносится с данными исследования L. Saba и соавт., где авторы предложили разделить по плотностным характеристикам бляшки на 4 типов: кальцинированные $>+130$ HU, фиброзные $+60...+130$ HU, липидные $+26...+59$ HU и внутрибляшечное кровоизлияние менее $+25$ HU [13]. Однако при статистической обработке, выполненной с использованием апостериорного критерия Тьюки после дисперсионного анализа, статистически значимых различий между плотностными характеристиками компонентов не получено, но выявлены значимые различия показателя Z-effective у разных компонентов. Установлено, что значения минимального Z-effective были достоверно выше в области фиброзного компонента при попарном сравнении с кровоизлиянием ($p < 0,01$), липидно-некроти-



Таблица. Количественные показатели, полученные при ДЭКТ-ангиографии, для каждого компонента бляшки
Table. Quantitative indexes obtained with DECT angiographic study, as for every component of a plaque

Плотность и уровень поражения Plaque Component	Плотностные показатели			Min Z-effective	Mean Z-effective	Max Z-effective
	при 90 кВ density at 90 kV HU	при 150 кВ density at 150 kV HU	при усредненном 0,5 кВ density at mixed 0,5 kV HU			
На уровне липидного некротического ядра Lipid-rich necrotic core (LRNC)	46.1 (±3.7)	43 (±5.0)	44.5 (±3.5)	7.34 (±0.05)	7.58 (±0.06)	7.85 (±0.1)
На уровне кровоизлияния Intraplaque hemorrhage (IPH)	27 (±5.2)	21.6 (±9.1)	25.1 (±6.6)	7.4 (±0.07)	7.46 (±0.07)	7.47 (±0.1)
На уровне смешанного компонента Mixed component with LRNC/IPH	49.1 (±8.2)	35 (±7.5)	43.2 (7.5)	7.62 (±0.1)	7.71 (±0.1)	7.79 (±0.11)
На уровне фиброзного компонента Fibrous component	75.4 (±14.5)	57.3 (±9.5)	68.1 (±11.9)	8.03 (±0.14)	8.06 (±0.13)	8.09 (±0.12)

ческим ядром ($p < 0,001$), а также со смешанными участками, содержащими липидный и/или геморрагический компонент ($p < 0,05$). Это позволяет предположить, что показатель минимального Z-effective может дифференцировать стабильный фиброзный компонент атеросклеротической бляшки от таких нестабильных компонентов, как внутрибляшечное кровоизлияние, липидное-некротическое ядро, а также смешанный компонент, включающий липидный и/или геморрагический компонент.

В то же время при сравнении минимального, среднего и максимального Z-effective между зонами кровоизлияния, липидного ядра и их сочетаний статистически значимых различий выявлено не было. Это может быть обусловлено как ограниченной выборкой указанных подтипов, так и физиологическим сходством их спектральных характеристик в рамках текущего протокола сканирования. Однако так как эти компоненты атеросклеротической бляшки относятся к признакам нестабильности, более значимым является наличие различий между стабильным фиброзным компонентом и компонентами нестабильности.

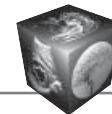
Также был определен оптимальный порог минимального Z-effective $\geq 7,7$, позволяющий дифференцировать стабильный фиброзный компонент от нестабильных компонентов, таких как липидное

ядро, кровоизлияние, а также их сочетания (чувствительность 85,2%, специфичность 88,9%).

Полученные результаты демонстрируют перспективность ДЭКТ-ангиографии для неинвазивной количественной оценки состава атеросклеротических бляшек и, в частности, для различения фиброзных и нестабильных компонентов. Тем не менее частичное перекрытие спектральных профилей некоторых элементов подчеркивает необходимость дальнейшего уточнения диагностических порогов и верификации на расширенной выборке.

Заключение

Двухэнергетическая компьютерная томография является перспективной методикой оценки атеросклероза брахиоцефальных артерий, в том числе структуры бляшки. Полученные результаты демонстрируют возможности двухэнергетической КТ-ангиографии для неинвазивной количественной оценки состава атеросклеротических бляшек и, в частности, для дифференциации стабильного фиброзного компонента и участков с наличием нестабильных компонентов. Тем не менее целесообразны дальнейшие исследования на расширенной выборке для уточнения диагностических порогов для каждого компонента атеросклеротической бляшки.



Участие авторов

Галаяутдинова Л.Э. – концепция и дизайн исследования, проведение исследования, статистическая обработка данных, анализ и интерпретация полученных данных, написание текста.

Мамедова М.М. – сбор и обработка данных, обзор публикаций по теме статьи.

Гончарова Е.А. – обзор публикаций по теме статьи, анализ и интерпретация полученных данных.

Басек И.В. – концепция и дизайн исследования, анализ и интерпретация полученных данных, подготовка и редактирование текста.

Алексеева Д.В. – концепция и дизайн исследования, анализ и интерпретация полученных данных, подготовка и редактирование текста.

Митрофанова Л.Б. – участие в научном дизайне.

Труфанов Г.Е. – подготовка и редактирование текста, утверждение окончательного варианта статьи.

Ванюркин А.Г. – участие в научном дизайне.

Чернявский М.А. – участие в научном дизайне.

Authors' participation

Galyautdinova L.E. – concept and design of the study, conducting research, statistical analysis, analysis and interpretation of the obtained data, writing text.

Mamedova M.M. – collection and analysis of data, review of publications.

Goncharova E.A. – review of publications, collection and analysis of data.

Basek I.V. – concept and design of the study, analysis and interpretation of the obtained data, text preparation and editing.

Alekseeva D.V. – concept and design of the study, analysis and interpretation of the obtained data, text preparation and editing.

Mitrofanova L.B. – participation in scientific design.

Trufanov G.E. – text preparation and editing, approval of the final version of the article.

Vanyurkin A.G. – participation in scientific design.

Chernyavsky M.A. – participation in scientific design.

Список литературы [References]

1. Feigin V.L., Brainin M., Norrving B. et al. World Stroke Organization: Global Stroke Fact Sheet. *Int. J. Stroke*. 2025; 20 (2): 132–144. <https://doi.org/10.1177/17474930241308142>
2. Zhao H., Lu S., Jie Y. et al. Comprehensive analysis of the ischemic stroke burden at global, regional, and national levels (1990–2021): trends, influencing factors, and future projections. *Front. Neurol.* 2025; 16: 1492691. <https://doi.org/10.3389/fneur.2025.1492691>
3. Bonati L.H., Kakos S., Berkefeld J. et al. European Stroke Organisation guideline on endarterectomy and stenting for carotid artery stenosis. *Eur. Stroke J.* 2021; 6 (2): I–XLVII. <https://doi.org/10.1177/23969873211012121>
4. Короткевич А.А., Семенов С.Е., Малева О.В., Трубникова О.А. Некоторые аспекты кардиocereбральных отношений у хирургических пациентов с мультифокальным атеросклерозом и сердечной недостаточностью. *Медицинская визуализация*. 2022; 26 (2): 101–112. <https://doi.org/10.24835/1607-0763-1048>
5. Korotkevich A.A., Semenov S.E., Maleva O.V., Trubnikova O.A. Some aspects of cardio-cerebral relationships in surgical patients with multifocal atherosclerosis and heart failure. *Meditinskaya vizualizatsiya = Medical Visualization*. 2022; 26 (2): 101–112. <https://doi.org/10.24835/1607-0763-1048> (In Russian)
6. Baradaran H., Gupta A. Extracranial vascular disease: carotid stenosis and plaque imaging. *Neuroimaging Clin. N. Am.* 2021; 31(2): 157–166. <https://doi.org/10.1016/j.nic.2021.02.002>
7. Bos D., van Dam-Nolen D.H.K., Gupta A. et al. Advances in multimodality carotid plaque imaging: AJR expert panel narrative review. *Am. J. Roentgenol.* 2021; 217(1): 16–26. <https://doi.org/10.2214/AJR.20.24869>
8. Zamani M., Skagen K., Scott H. et al. Advanced ultrasound methods in assessment of carotid plaque instability: a prospective multimodal study. *BMC Neurol.* 2020; 20 (1): 39. <https://doi.org/10.1186/s12883-020-1620-z>
9. Weng S.T., Lai Q.L., Cai M.T. et al. Detecting vulnerable carotid plaque and its component characteristics: progress in related imaging techniques. *Front. Neurol.* 2022; 13: 982147. <https://doi.org/10.3389/fneur.2022.982147>
10. Machida H., Tanaka I., Fukui R. et al. Dual-energy spectral CT: various clinical vascular applications. *Radiographics*. 2016; 36 (4): 1215–1232. <https://doi.org/10.1148/rg.2016150185>
11. Obaid D.R., Calvert P.A., Gopalan D. et al. Dual-energy computed tomography imaging to determine atherosclerotic plaque composition: a prospective study with tissue validation. *J. Cardiovasc. Comput. Tomogr.* 2014; 8 (3): 230–237. <https://doi.org/10.1016/j.jcct.2014.04.007>
12. Aizaz M., Bierens J., Gijbels M.J.J. et al. Differentiation of atherosclerotic carotid plaque components with dual-energy computed tomography. *Invest. Radiol.* 2025; 60 (8): 508–516. <https://doi.org/10.1097/RLI.0000000000001153>
13. Чернявский М.А., Иртыга О.Б., Янишевский С.Н., Алиева А.С., Самочерных К.А., Абрамов К.Б., Вавилова Т.В., Лукьянчиков В.А., Курапеев Д.И., Ванюркин А.Г., Чернова Д.В., Шелуханов Н.К., Козленок А.В., Кавтеладзе З.А., Малеванный М.В., Виноградов Р.А., Хафизов Т.Н., Иванова Г.Е., Жуковская Н.В., Фокин А.А., Игнатъев И.М., Карпенко А.А., Игнатенко П.В., Астапов Д.А., Семенов В.Ю., Порханов В.А., Крылов В.В., Усачев Д.Ю., Светликов А.В., Алекаян Б.Г., Акчурин Р.С., Чернявский А.М., Конради А.О., Шляхто Е.В. Российский консенсус по диагностике и лечению пациентов со стенозом сонных артерий. *Российский кардиологический журнал*. 2022; 27 (11): 5284. <https://doi.org/10.15829/1560-4071-2022-5284>
14. Chernyavskiy M.A., Irtyuga O.B., Yanishevskiy S.N. et al. Russian consensus on the diagnosis and treatment of patients with carotid artery stenosis. *Rossiyskiy kardiologicheskiy zhurnal = Russian Journal of Cardiology*. 2022; 27 (11): 5284. <https://doi.org/10.15829/1560-4071-2022-5284> (In Russian)
15. Saba L., Micheletti G., Brinjikji W. et al. Carotid intraplaque-hemorrhage volume and its association with cerebrovascular events. *Am. J. Neuroradiol.* 2019; 40 (10): 1731–1737. <https://doi.org/10.3174/ajnr.A6189>



Для корреспонденции*: Галаяутдинова Лина Эриковна – e-mail: Lina_erikovna@mail.ru

Галаяутдинова Лина Эриковна – аспирант кафедры лучевой диагностики и медицинской визуализации ФГБУ “Национальный медицинский исследовательский центр им. В.А. Алмазова” Минздрава России, Санкт-Петербург. <https://orcid.org/0000-0001-5607-8550>. Email: Lina_erikovna@mail.ru

Мамедова Милена Мовлюдовна – студентка факультета “лечебное дело” Института медицинского образования ФГБУ “Национальный медицинский исследовательский центр им. В.А. Алмазова” Минздрава России, Санкт-Петербург. <https://orcid.org/0009-0007-3540-6624>

Гончарова Екатерина Андреевна – старший лаборант кафедры патологической анатомии с клиникой ФГБУ “Национальный медицинский исследовательский центр им. В.А. Алмазова” Минздрава России, Санкт-Петербург. <https://orcid.org/0000-0002-4856-7976>

Басек Илона Владимировна – канд. мед. наук, заведующая отделом лучевой диагностики ФГБУ “Национальный медицинский исследовательский центр им. В.А. Алмазова” Минздрава России, Санкт-Петербург. <https://orcid.org/0000-0003-4442-7228>

Алексеева Дарья Владимировна – заведующая отделением лучевой диагностики №1 ФГБУ “Национальный медицинский исследовательский центр им. В.А. Алмазова” Минздрава России, Санкт-Петербург. <https://orcid.org/0000-0001-9528-9377>

Митрофанова Любовь Борисовна – доктор мед. наук, профессор, главный научный сотрудник научно-исследовательской лаборатории патоморфологии ФГБУ “Национальный медицинский исследовательский центр им. В.А. Алмазова” Минздрава России, Санкт-Петербург. <https://orcid.org/0000-0003-0735-7822>

Труфанов Геннадий Евгеньевич – доктор мед. наук, профессор, заведующий кафедрой лучевой диагностики и медицинской визуализации Института медицинского образования ФГБУ “Национальный медицинский исследовательский центр им. В.А. Алмазова” Минздрава России, Санкт-Петербург. <https://orcid.org/0000-0002-1611-5000>

Ванюркин Алмаз Гафурович – младший научный сотрудник научно-исследовательской лаборатории сосудистой и гибридной хирургии, врач сердечно-сосудистый хирург ФГБУ “Национальный медицинский исследовательский центр им. В.А. Алмазова” Минздрава России, Санкт-Петербург. <https://orcid.org/0000-0002-8209-9993>

Чернявский Михаил Александрович – заведующий НИО сосудистой и интервенционной хирургии, главный научный сотрудник ФГБУ “Национальный медицинский исследовательский центр им. В.А. Алмазова” Минздрава России, Санкт-Петербург. <https://orcid.org/0000-0003-1214-0150>

Contact*: Lina E. Galyautdinova – e-mail: Lina_erikovna@mail.ru

Lina E. Galyautdinova – PhD Student, Department of Radiology and Medical Imaging, Almazov National Medical Research Center, Saint-Petersburg. <https://orcid.org/0000-0001-5607-8550>. Email: Lina_erikovna@mail.ru

Milena M. Mamedova – medical student, Faculty of General Medicine, Institute of Medical Education, Almazov National Medical Research Center, Saint-Petersburg. <https://orcid.org/0009-0007-3540-6624>

Ekaterina A. Goncharova – Senior Laboratory Assistant of the Department of Pathological Anatomy with Clinical Course, Almazov National Medical Research Center, Saint-Petersburg. <https://orcid.org/0000-0002-4856-7976>

Ilona V. Basek – Cand. of Sci. (Med.), Head of the Department of Radiology, Almazov National Medical Research Center, Saint-Petersburg. <https://orcid.org/0000-0003-4442-7228>

Darya V. Alekseeva – Head of Radiation Diagnostics Department № 1, Almazov National Medical Research Center, Saint-Petersburg. <https://orcid.org/0000-0001-9528-9377>

Lyubov B. Mitrofanova – Doct. of Sci. (Med.), Professor, Chief Researcher at the Pathomorphology Research Laboratory, Almazov National Medical Research Center, Saint-Petersburg. <https://orcid.org/0000-0003-0735-7822>

Gennadii E. Trufanov – Doct. of Sci. (Med.), Head of the Radiology and Medical Visualisation Department, Almazov National Medical Research Center, Saint-Petersburg. <https://orcid.org/0000-0002-1611-5000>

Almaz G. Vanyurkin – Junior researcher at the Research Laboratory of Vascular and Hybrid Surgery, doctor-cardiovascular surgeon, Almazov National Medical Research Center, Saint-Petersburg. <https://orcid.org/0000-0002-8209-9993>

Mihail A. Chernyavskiy – Head of the Research Department of Vascular and Interventional Surgery, Chief Researcher, Almazov National Medical Research Center, Saint-Petersburg. <https://orcid.org/0000-0003-1214-0150>