



СОВРЕМЕННЫЕ ПРЕДСТАВЛЕНИЯ О РОЛИ КОМПЬЮТЕРНОЙ ТОМОГРАФИИ В ДИАГНОСТИКЕ НЕСТАБИЛЬНЫХ АТЕРОСКЛЕРОТИЧЕСКИХ БЛЯШЕК СОННЫХ АРТЕРИЙ (ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ)

Л.Э. Галяутдинова¹, А.А. Рахманова², Я.А. Филин¹, И.В. Басек¹, Д.В. Алексеева¹, Г.Е. Труфанов¹

¹Национальный медицинский исследовательский центр имени В. А. Алмазова, ул. Аккуратова, д. 2, г. Санкт-Петербург, 197349, Россия

²Первый Санкт-Петербургский государственный медицинский университет имени академика И.П. Павлова, ул. Льва Толстого, д. 6-8, г. Санкт-Петербург, 197022, Россия

Резюме. Атеросклеротическое поражение экстракраниального отдела сонных артерий является одной из основных причин ишемических поражений головного мозга. Компьютерная томография является широкодоступным, неинвазивным методом исследования, позволяющим оценить не только анатомические особенности брахиоцефальных артерий и степень стеноза, но и структуру бляшки. В последние годы появляется всё больше данных о связи ишемического инсульта не только со степенью стеноза, но и с наличием нестабильных атеросклеротических бляшек. Выявление признаков нестабильности бляшки с помощью неинвазивных методов диагностики, таких как КТ-ангиография, в перспективе может позволить оценить риск развития сосудистых событий в бассейнах сонных артерий, снизить потребность в инвазивной диагностике, а также своевременно определить показания для оперативного вмешательства.

Ключевые слова: Компьютерная томография [D014057]; Атеросклеротическая бляшка [D058226]; Нестабильная бляшка [D058226]; Сонные артерии [D002339]; Атеросклероз [D050197]; Визуализация сосудов [D055504]; КТ-ангиография [D056324]; Цереброваскулярные заболевания [D002561]; Инсульт [D020521]; Диагностические методы [D003951].

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Финансирование. Исследование проводилось без спонсорской поддержки.

Для цитирования: Галяутдинова Л.Э., Рахманова А.А., Филин Я.А., Басек И.В., Алексеева Д.В., Труфанов Г.Е. Современные представления о роли компьютерной томографии в диагностике нестабильных атеросклеротических бляшек сонных артерий (обзор литературы). *Вестник медицинского института «РЕАВИЗ». Реабилитация, Врач и Здоровье.* 2025;15(1):138-143. <https://doi.org/10.20340/vmi-rvz.2025.1.MIM.1>

THE ROLE OF COMPUTED TOMOGRAPHY IN DIAGNOSING THE VULNERABILITY OF CAROTID ARTERY PLAQUES (LITERATURE REVIEW)

Lina E. Galyautdinova¹, Ayday A. Rakhmanova², Yana A. Filin¹, Ilona V. Basek¹,
Dar'ya V. Alekseeva¹, Gennadiy E. Trufanov¹

¹Almazov National Medical Research Center, 2, Akkuratov St., Saint Petersburg, 197349, Russia

²Pavlov First Saint Petersburg State Medical University, 6-8, Lev Tolstoy St., Saint Petersburg, 197022, Russia

Abstract. Atherosclerotic lesion of the extracranial carotid arteries is one of the main causes of ischemic stroke. Computed tomography is a widely available, non-invasive method that allows us to evaluate not only the anatomical features of the brachiocephalic arteries and the degree of stenosis, but also the structure of the plaque. In recent years, there has been increasing evidence of an association of ischemic stroke not only with the degree of stenosis, but also with the presence of plaque vulnerability. Identification of signs of plaque instability using non-invasive diagnostic methods, such as CT angiography, has the potential to evaluate the risk of vascular events, reduce the need for invasive diagnosis, and facilitate timely identification of indications for surgical intervention.

Keywords: Computed tomography / Tomography, X-Ray Computed [D014057]; Atherosclerotic plaque / Plaque, Atherosclerotic [D058226]; Unstable plaque / Plaque, Atherosclerotic, Vulnerable [D058226]; Carotid arteries [D002339]; Atherosclerosis / Atherosclerosis [D050197]; Vascular imaging / Vascular Imaging [D055504]; CT angiography / Computed Tomography Angiography [D056324]; Cerebrovascular disorders / Cerebrovascular Disorders [D002561]; Stroke / Stroke [D020521]; Diagnostic methods / Diagnostic Techniques and Procedures [D003951].

Competing interests. The authors declare no competing interests.

Funding. This research received no external funding.

Compliance with ethical principles. The author confirm that they respect the rights of the people participated in the study, including obtaining informed consent.

Cite as: Galyautdinova L.E., Rakhmanova A.A., Filin Ya.A., Basek I.V., Alekseeva D.V., Trufanov G.E. The role of computed tomography in diagnosing the vulnerability of carotid artery plaques (literature review). *Bulletin of the Medical Institute "REAVIZ": Rehabilitation, Doctor and Health.* 2025;15(1):138-143. <https://doi.org/10.20340/vmi-rvz.2025.1.MIM.1>



Введение

Атеросклеротическое поражение экстракраниального отдела сонных артерий является одной из основных причин ишемических поражений головного мозга. Ряд исследований доказывает, что даже пациенты с гемодинамически незначимым стенозом сонной артерии также требуют дополнительной диагностики с целью определения морфологических характеристик атеросклеротической бляшки с помощью визуализирующих методов исследования, т.к. эмбологенная атеросклеротическая бляшка в сонной артерии является потенциальной причиной инсульта [1]. В связи с тем, что всё больше исследований связывают риск возникновения инсульта с нестабильностью атеросклеротических бляшек, возникает необходимость оценки возможностей КТ-ангиографии в определении признаков нестабильности бляшки [2].

Материалы и методы

Был проведён литературный обзор научных публикаций за последние 10 лет, используя ресурсы поисковых систем The Lancet Public Health Journal, PubMed и eLIBRARY по вышеуказанным ключевым словам. Для данного анализа были использованы научные статьи, а также отечественные и зарубежные клинические рекомендации по ведению пациентов с атеросклерозом сонных артерий, содержащие доказательную экспериментальную и клиническую базу.

Результаты

Морфологической причиной осложнений атеросклероза, в частности острых ишемических повреждений головного мозга, является разрыв бляшки, в основе которого, в свою очередь, лежит снижение её механической прочности. Последняя зависит от многих анатомо-морфологических характеристик бляшки, но в наибольшей степени - от наличия геморрагий в толще бляшки и патологической васкуляризации [3, 4]. Помимо приведённых характеристик, к критериям нестабильности бляшки, определяемым с помощью визуализирующих методов диагностики, относят наличие большого липидного ядра, некротического ядра с тонкой фиброзной крышкой, активного воспаления, повышенной неоваскуляризации, положительного ремоделирования и микрокальцинатов в структуре [5].

Методы исследования нестабильности атеросклеротических бляшек (АСБ) можно разделить на инвазивные и неинвазивные. К инвазивным методам исследования нестабильных АСБ относятся внутрисосудистое ультразвуковое исследование (ВСУЗИ), оптическая когерентная томография (ОКТ), ангиоскопия, рамановская спектроскопия, к неинвазивным методам - магнитно-резонансная томогра-

фия (МРТ), мультиспиральная компьютерная томография (МСКТ), позитронно-эмиссионная томография (ПЭТ), ультразвуковое дуплексное исследование сонных артерий [6].

Изучение морфологических характеристик АСБ является одним из наиболее перспективных направлений применения компьютерной томографии с целью раннего выявления и лечения атеросклероза и предотвращения его осложнений.

Многие авторы предлагают деление АСБ при КТ на три типа: мягкие, смешанные (комбинированные/гетерогенные) и кальцинированные. Мягкие АСБ характеризуются отсутствием кальцинатов и плотностью менее 60 HU. В комбинированных бляшках доля кальцинатов соответствует менее 50% от объёма бляшки и плотность составляет 60-130 HU. В кальцинированных АСБ процент кальцинатов более 50% от объёма бляшки и плотность составляет более 130 HU соответственно. Важно учитывать, что плотность АСБ варьирует в зависимости от технических характеристик КТ сканирования: напряжения трубки, толщины среза, а также соотношения сигнал-шум. В этом заключается трудность определения стабильности бляшки исключительно на основе плотности единиц Хаунсфилда (HU) [7].

Возможности компьютерной томографии в диагностике признаков нестабильности рассмотрены ниже.

Неоваскуляризация. Различные процессы, такие как воспаление, накопление липидов, протеолиз, тромбообразование и неоангиогенез, являются основными причинами нестабильности атеросклеротической бляшки [8]. В различных клинических и лабораторных исследованиях было обнаружено, что маркеры воспаления и vasa vasorum способствуют развитию ангиогенеза, стимулируемого гипоксией и сосудистым фактором роста, определённым в качестве ключевого фактора, вызывающего нестабильность бляшки [9]. Формируются новые незрелые сосуды внутри бляшки. Отсутствие в этих сосудах перicyтов может приводить к диапедезным кровотечениям. Компьютерная томография может быть использована для обнаружения неоваскуляризации в АСБ. При измерении плотности на нативных и постконтрастных изображениях неоваскуляризация будет характеризоваться накоплением контрастного препарата в контрастную фазу в структуре бляшки. Однако авторы также подчеркивают, что необходимо учитывать артефакты кальцинатов и артефактов луча [4]. Также данный протокол исследования характеризуется большей лучевой нагрузкой в связи с необходимостью выполнения нативной серии сканирования.

Размер бляшки. Бессимптомная бляшка может составлять до 40% от площади сосуда до начала активного роста в просвет сосуда и последующей обструкции.

Липидное ядро. Обнаружение самого липидного ядра в структуре бляшки на КТ затруднено, однако о нём могут косвенно свидетельствовать зоны низкой плотности в структуре бляшки [10]. Следует отметить, что плотность АСБ является одной из самых важных КТ-характеристик, аналогично экзогенности по ВСУЗИ, предоставляющей информацию о морфологии АСБ. Так, низкая рентгеновская плотность (менее 30–50 HU) характерна для мягких бляшек с крупным липидным ядром. Таким образом, увеличение данного показателя может свидетельствовать об уменьшении размера липидного ядра и отражать процесс «стабилизации» АСБ [11].

Липидное ядро состоит из кристаллов холестерина, апоптотических остатков клеток и частиц кальция и может выступать в роли предиктора повышенного риска инсульта [12]. В пролонгированном исследовании 120 асимптомных пациентов атеросклеротические бляшки с липидным ядром >40% (% липидного ядра = толщина липидного ядра/толщина стенки артерии) по данным МРТ были более склонны к потенцированию эмболических осложнений в течение 3-летнего периода наблюдения, в сравнении с АСБ с липидным ядром <40% [13]. Тем не менее, прямое влияние липидного ядра на возникновение ишемических событий в головном мозге требует дальнейшего изучения, ввиду малой выборки пациентов.

Ремоделирование сосуда в зоне поражения. Оценку ремоделирования сосуда выполняли на основании расчёта отношения диаметров наружных контуров сосуда в месте расположения АСБ и его проксимального сегмента. Если это отношение – индекс ремоделирования (ИР) – было больше 1,1, то ремоделирование считалось положительным.

Положительное ремоделирование указывает на нестабильность АСБ и часто встречается в бляшках с крупным некротическим ядром, в бляшках с тонкой фиброзной покрышкой и АСБ с кровоизлияниями. Данный процесс не наблюдается при хронических стабильных фиброзных бляшках. Более того, при стабильном поражении может развиваться отрицательное ремоделирование (индекс ремоделирования < 0,95), т.е. уменьшение поперечного сечения сосуда в месте образования АСБ. Однако нестабильные АСБ не всегда сопровождаются положительным ремоделированием, особенно при наличии эрозий [14].

Кровоизлияние в бляшку. Кровоизлияние в АСБ встречается повсеместно в процессе развития АСБ и, как правило, не сопровождается симптомами. Источником кровоизлияния из мелких капилляров может быть неоваскуляризация в нестабильных АСБ.

Кровь также может проникнуть в АСБ из просвета сосуда через микротрещины в интиме, покрывающей АСБ. Быстрое увеличение АСБ после кровоизлияния может вызвать гемодинамически значимое сужение просвета или увеличение объёма некротического ядра и разрыв АСБ. Крупные кровоизлияния в АСБ хорошо идентифицируются с использованием КТ и МРТ сонных артерий [15]. Само по себе внутрибляшечное кровоизлияние является одним из ключевых предикторов ишемических атак головного мозга.

В ретроспективном исследовании Saba L. и соавт. были показаны возможности КТ в определении наличия кровоизлияний в структуру АСБ. Для этого проанализированы КТ 91 пациента до каротидной эндартерэктомии с последующей морфологической верификацией. Результаты показали, что среднее значение плотности для внутрибляшечного кровоизлияния составляло менее +25 HU [16]. Однако при КТ может быть затруднительно провести дифференцировку между кровоизлиянием в бляшку, липидным ядром и фиброзной покрышкой в связи с возникающим перекрытием зон низкой плотности («overlap»). Для диагностики и категоризации кровоизлияний (свежее, недавнее, давнее) по-прежнему целесообразнее применять МРТ [2].

Неровный контур бляшки. Неровность контура или наличие так называемого язвенноподобного дефекта является наиболее специфичным признаком разрыва АСБ, выявленным при МСКТ. По данным МСКТ, выделяют два типа этого симптома: вогнутая в сторону просвета сосуда граница между краем разорванной АСБ и контрастным препаратом в сосуде и язвенноподобная область контрастирования, переходящая из просвета сосуда глубоко в бляшку, если отношение её плотности к плотности контраста в просвете артерии находится в диапазоне от 0,7 до 1 мм [15].

Воспаление тканей на уровне атеросклеротического поражения. Различные процессы, такие как воспаление, накопление липидов, протеолиз, тромбообразование и неоангиогенез, являются основными причинами нестабильности атеросклеротической бляшки [8]. В различных клинических и лабораторных исследованиях было обнаружено, что маркеры воспаления и vasa vasorum способствуют развитию ангиогенеза, стимулируемого гипоксией и сосудистым фактором роста, определённым в качестве ключевого фактора, вызывающего нестабильность бляшки [9]. При оценке КТ сонных артерий при воспалении может увеличиваться плотность периваскулярного жира. Исследователи предлагают учитывать повышение плотности жировой клетчатки на уровне бляшки как одного из признаков периваскулярного воспаления [10].

Обсуждение

Известно, что гемодинамически значимый стеноз чаще ассоциирован с осложнёнными АСБ, чем с бессимптомными, но многие исследования демонстрируют, что даже гемодинамически незначимый стеноз может приводить к ишемическим событиям. Так, сегодня известно, что высокий риск осложнений каротидных АСБ зависит не только от степени стеноза.

Задача, стоящая перед врачом-рентгенологом, заключается в выявлении пациентов с бессимптомным каротидным стенозом и высоким риском нестабильности бляшек. Важной причиной ишемического инсульта является трансформация покоящегося атеросклеротического поражения сонной артерии в нестабильную бляшку, уязвимую для разрыва и тромбоза. Большинство атеросклеротических поражений неоваскуляризуется, и неососуды могут способствовать прогрессированию и уязвимости бляшек [16, 17].

В настоящее время с помощью методов визуализации можно обнаружить и охарактеризовать компоненты нестабильности атеросклеротических бляшек, а также стратифицировать риск инсульта у пациентов с атеросклеротическим поражением сонных артерий. Стандартная УЗИ-диагностика сонных артерий позволяет получить общую информацию о бляшке, а с применением контраста можно получить данные о наличии и степени неоваскуляризации. Компьютерная томография расширяет спектр диагностических возможностей. С её помощью можно оценить общий объём бляшки и объём её структурных компонентов, определить тип бляшки (мягкая, смешанная, кальцинированная), объективно оценить протяжённость и характер ремоделирования артерии в месте поражения, оценить контур и наличие язвенноподобных дефектов, проанализировать неоваскуляризацию, выявить признаки перваскулярного воспаления. МРТ позволяет оценить наличие и толщину фиброзной покрышки, неоваскуляризации и внутрибляшечного кровоизлияния [18-20].

Ранее считалось, что МРТ является наилучшим методом визуализации внутрибляшечного кровоизлияния, основанным на стандартном выявлении оксигемоглобина. Это мнение поддерживалось рядом авторов, утверждавших, что с помощью КТ невозможно отличить фиброзную покрышку, липидный центр и внутрибляшечное кровоизлияние вследствие наложения зон сигнала. Но недавние публикации оспаривают это мнение, т.к. в связи с усовершенствованием аппаратов КТ появляется всё больше возможностей визуализации различных компонентов бляшки с более высокой точностью [21]. Утверждение остаётся спорным ввиду возможного наличия артефактов сканирования или кальцинатов, а также вышеупомянутого наложения плотностных характеристик ("substantial overlap").

Таким образом, метод КТ-диагностики нестабильных АСБ играет важную роль в диагностике и стратификации риска развития острых ишемических событий в бассейнах сонных артерий.

Недавние исследования продемонстрировали, что объём АСБ, изменяющийся с течением времени, также является критически важным детерминантом нестабильности бляшки и возможным риском ишемических осложнений. Некоторые авторы выдвигали гипотезу, что объём бляшки может служить лучшим маркером тяжести атеросклероза, нежели степень стеноза сонной артерии [22]. В настоящее время КТ-исследование позволяет вычислить объём как самой АСБ, так и каждого из её компонентов, основываясь на различиях в плотности (HU). На КТ атеросклеротические бляшки классифицируются как мягкие (<60 HU), смешанные (60-130 HU) и кальцинированные (>130 HU). В 2013 году исследователи Ukwatta E. и Yuan J. пытались вычислить такую же градацию для МРТ, однако результаты оказались мало убедительными, ввиду более низкого разрешения МРТ в сравнении с КТ [23].

Мягкие АСБ ассоциированы с большим риском инсульта, в то время как кальцинирование бляшек является защитным фактором, в отличие от коронарных артерий [24, 25]. Предположительно, кальций в АСБ сонных артерий обеспечивает стабильность бляшки, защищает от биомеханического стресса, тем самым снижая риск разрыва. Для КТ-анализа кальцинированных бляшек крайне важно правильно подобрать «окно» визуализации: уровень и центр исследуемого изображения.

Существует ещё один перспективный тип компьютерной томографии – двухэнергетическая КТ (ДЭКТ). Достоинствами технологии является возможность дифференцировать сигналы от контрастного йода и кальция, более точное измерение плотности объектов на основе атомных чисел, а не единиц Хаунсфилда (HU), улучшение мягкотканного контраста и уменьшение количества артефактов. Так, привычная классификация бляшек (мягкая, кальцинированная, смешанная) может быть уточнена и модифицирована благодаря данному детальному методу визуализирующей оценки АСБ [26-28].

Заключение

На сегодняшний день МСКТ-ангиография атеросклеротического поражения сонных артерий прочно закрепилась в стандарте диагностики атеросклеротического поражения брахиоцефальных артерий. КТ обладает рядом преимуществ: скорость выполнения исследования, неинвазивность, оценка стеноза, морфологии бляшки и т.д. Кроме того, в последние годы появляется всё больше исследований в оценке возможностей МСКТ в диагностике не только степени стеноза и определения типа бляшки (мягкая,

смешанная, кальцинированная), но и визуализации признаков её нестабильности.

КТ позволяет оценить наличие следующих признаков нестабильности атеросклеротической бляшки: участок низкой плотности в её структуре (соответствующий большому липидному ядру, некрозу или кровоизлиянию), микрокальцинаты, неровный контур с язвенноподобным дефектом, положительное ремоделирование артерии на уровне бляшки, а также уплотнение периваскулярного жира на уровне бляшки как признака воспаления. Кроме того, оценка накопления контрастного препарата бляшкой может позволить выявить неоваскуляризацию.

Оценка толщины фиброзной покрышки, а также дифференциации внутрибляшечного кровоизлияния и липидного ядра при МСКТ ограничены, однако внутрибляшечное кровоизлияние и липидное ядро могут быть визуализированы с помощью МРТ.

Таким образом КТ является высокоинформативным методом диагностики, позволяющим оценивать не только морфологию сонных артерий, выраженность атеросклеротического поражения и степень стеноза, но и структуру бляшки, включая некоторые признаки её нестабильности.

Литература [References]

- 1 Чернявский М.А. и соавт. Российский консенсус по диагностике и лечению пациентов со стенозом сонных артерий. *Российский кардиологический журнал*. 2022;27(11):76-86. Chernyavsky M.A. et al. Russian consensus on the diagnosis and treatment of patients with carotid artery stenosis. *Russian Journal of Cardiology*. 2022;27(11):76-86. (In Russ.)
- 2 Saba, Luca et al. Imaging biomarkers of vulnerable carotid plaques for stroke risk prediction and their potential clinical implications. *The Lancet Neurology*. 2019;18(6):559-572. [https://doi.org/10.1016/S1474-4422\(19\)30035-3](https://doi.org/10.1016/S1474-4422(19)30035-3)
- 3 Усов В.Ю. и соавт. Неинвазивная оценка микровазуляризации каротидных бляшек по данным МРТ сонных артерий с парамагнитным контрастным усилением. *Сибирский журнал клинической и экспериментальной медицины*. 2016;31(3):39-43. Usov V.Yu. et al. Noninvasive assessment of microvascularization of carotid plaques based on MRI of carotid arteries with paramagnetic contrast enhancement. *Siberian Journal of Clinical and Experimental Medicine*. 2016;31(3):39-43. (In Russ.)
- 4 Saba L., Loewe C., Weikert T. et al. State-of-the-art CT and MR imaging and assessment of atherosclerotic carotid artery disease: the reporting—a consensus document by the European Society of Cardiovascular Radiology (ESCR). *Eur Radiol*. 2023;33:1088-1101. <https://doi.org/10.1007/s00330-022-09025-6>
- 5 Погорелова О.А., Трипотень М.И. и соавт. Признаки нестабильности атеросклеротической бляшки в сонных артериях у больных с острым коронарным синдромом по данным ультразвукового дуплексного сканирования. *Кардиология*. 2017;57(12):5-15. Pogorelova O.A., Tripoteny M.I. et al. Signs of atherosclerotic plaque instability in the carotid arteries in patients with acute coronary syndrome according to ultrasound duplex scanning. *Cardiology*. 2017;57(12):5-15. (In Russ.)
- 6 Murgia A, Ertu M, Suri JS, Gupta A, Wintermark M, Saba L. CT imaging features of carotid artery plaque vulnerability. *Ann Transl Med*. 2020;8(19):1261. <https://doi.org/10.21037/atm-2020-cass-13>
- 7 Серова Н.С., Муравьева П.А. Диагностические аспекты нестабильности атеросклеротической бляшки при проведении мультиспиральной компьютерной томографии. *REJR*. 2018; 8(2):188-197. Serova N.S., Muravyova P.A. Diagnostic aspects of atherosclerotic plaque instability during multispiral computed tomography. *REJR*. 2018; 8(2):188-197. (In Russ.) <https://doi.org/10.21569/2222-7415-2018-8-2-188-197>
- 8 Vancraeynest D, Pasquet A, Roelants V, Gerber BL, Vanoverschelde JL. Imaging the vulnerable plaque. *Journal of the American College of Cardiology*. 2011;57:1961-1979.
- 9 Mulligan-Kehoe MJ, Simons M. Vasa vasorum in normal and diseased arteries. *Circulation*. 2014;129:2557-2566. <https://doi.org/10.1161/CIRCULATIONAHA.113.007189>
- 10 Saba Luca, Loewe Christian, Weikert Thomas et al. State-of-the-art CT and MR imaging and assessment of atherosclerotic carotid artery disease: the reporting—a consensus document by the European Society of Cardiovascular Radiology. *European Radiology*. 2023;33:1088-1101.
- 11 Семенова А.А., Меркулова И.Н., Шария М.А., Барышева Н.А., Колесникова О.Г., Жукова Н.С. и др. Структурные особенности атеросклеротических бляшек по данным компьютерной томографии коронарных артерий и их динамика у больных с острым коронарным синдромом в ходе проспективного наблюдения. *Кардиологический вестник*. 2021;16(4):66-75. Semenova A.A., Merkulova I.N., Shariya M.A., Barysheva N.A., Kolesnikova O.G., Zhukova N.S. et al. Structural features of atherosclerotic plaques according to computed tomography of the coronary arteries and their dynamics in patients with acute coronary syndrome during prospective observation. *Cardiology Bulletin*. 2021;16(4):66-75. (In Russ.)
- 12 Gupta A, Baradaran H, Schweitzer AD, et al. Carotid plaque MRI and stroke risk: a systematic review and meta-analysis. *Stroke*. 2013; 44:3071-77.
- 13 Xu D, Hippe DS, Underhill HR, et al. «Prediction of high-risk plaque development and plaque progression with the carotid atherosclerosis score. *JACC Cardiovasc Imaging*. 2014;7:366-73.
- 14 Ohayon J., Finet G., Gharib A.M. et al. Necrotic core thickness and positive arterial remodeling index: emergent biomechanical factors for evaluating the risk of plaque rupture. *Am J Physiol Heart Circ Physiol*. 2008;295:H717-H727. <https://doi.org/10.1152/ajpheart.00005.2008>
- 15 Ел Манаа Х.Э., Шчекочихин Д.Ю. и соавт. Возможности мультиспиральной компьютерной томографии в оценке атеросклеротического поражения коронарных артерий. *Кардиология*. 2019;59(2):24-31. El Manaa HE, Shchekochikhin DY et al. Capabilities of multispiral computed tomography in assessing atherosclerotic lesions of the coronary arteries. *Cardiology*. 2019;59(2):24-31. (In Russ.)
- 16 Белов Ю.В., Синявин Г.В., Бредихина А.И., Гусева Е.В., Баринев Е.В., Лукьянова Е.А., Лузан П.Ю. Определение неангиогенеза атеросклеротической бляшки внутренней сонной артерии с помощью контрастно усиленного ультразвукового исследования и патогистологического изучения. *Хирургия. Журнал им. Н.И. Пирогова*. 2018;(8):90-95. Belov YuV, Sinyavin GV, Bredikhina AI, Guseva EV, Barinov EV, Lukyanova EA, Luzan PYu. Imaging of neoangiogenesis of internal carotid artery's atherosclerotic plaque by contrast-enhanced sonography and histological examination. *Pirogov Russian Journal of Surgery*. 2018;(8):90-95. (In Russ.) <https://doi.org/10.17116/hirurgia2018890>
- 17 Савельева А.С., Карлова Е.А., Протопопов А.В., Меркулова Н.А., Тяжелникова З.М. Возможности ДЭКТ в дифференциальной диагностике очаговых образований печени. *Лучевая диагностика и терапия*. 2018;(4):13-20. Savelyeva A.S., Karlova E.A., Protopopov A.V., Merkulova N.A., Tyazhelnikova Z.M. Possibilities of DECT in differential diagnostics of focal liver lesions. *Radiation diagnostics and therapy*. 2018;(4):13-20. (In Russ.) <https://doi.org/10.22328/2079-5343-2018-4-13-20>
- 18 Back M., Yurdagul A.J., Tabas I., Oorni K., Kovanen P.T. et al. Inflammation and its resolution in atherosclerosis: mediators and therapeutic opportunities. *Nat Rev Cardiol*. 2019;16(7):389-406. <https://doi.org/10.1038/s41569-019-0169-2>

- 19 Shalhoub J., Viiri L.E., Cross A.J., et al. Multi-analyte profiling in human carotid atherosclerosis uncovers pro-inflammatory macrophage programming in plaques. *Thromb Haemost.* 2016;115(5):1064-1072. <https://doi.org/10.1160/TH15-08-0650>
- 20 Wintermark M., Jawadi S.S., Rapp J.H., Tihan T., Tong E., Glidden D.V., Abedin S., Schaeffer S., Acevedo-Bolton G., Boudignon B., Orwoll B., Pan X., Saloner D. High-Resolution CT Imaging of Carotid Artery Atherosclerotic Plaques. *American Journal of Neuroradiology* May. 2008;29(5):875-882. <https://doi.org/https://doi.org/10.3174/ajnr.A0950>
- 21 Saba L., Micheletti G., Brinjikji W, et al. Carotid Intraplaque-Hemorrhage Volume and Its Association with Cerebrovascular Events. *AJNR Am J Neuroradiol.* 2019;40:1731-7.
- 22 Ouhlous M, Flach HZ, de Weert TT. Carotid plaque composition and cerebral infarction: MR imaging study». *Am J Neuroradiol.* 2005;26:1044-1049.
- 23 Ukwatta E, Yuan J, Rajchl M, Qiu W, Tessier D, Fenster A. 3-D carotid multi-region MRI segmentation by globally optimal evolution of coupled surfaces». *IEEE Trans Med Imaging.* 2013;32(4):770-785.
- 24 Nandalur KR, Baskurt E, Hagspiel KD, Phillips CD, Kramer CM. Calcified carotid atherosclerotic plaque is associated less with ischemic symptoms than is noncalcified plaque on MDCT. *AJR Am J Roentgenol.* 2005;184:295-298.
- 25 Sangiorgi G, Rumberger JA, Severson A. Arterial calcification and not lumen stenosis is highly correlated with atherosclerotic plaque burden in humans: a histologic study of 723 coronary artery segments using nondecalfying methodology. *J Am Coll Cardiol.* 1998;31:126-133.
- 26 Saba L, Lai ML, Montisci R, et al. Association between carotid plaque enhancement shown by multidetector CT angiography and histologically validated microvessel density. *Eur Radiol.* 2012; 22: 2237-45.
- 27 Saba Luca, & Anzidei, Michele & Cavallo Marincola, Beatrice & Piga, Mario & Raz, Eytan & Bassareo, Pier & Napoli, Alessandro & Mannelli, Lorenzo & Catalano, Carlo & Wintermark, Max. Imaging of the Carotid Artery Vulnerable Plaque. *Cardiovascular and interventional radiology.* 2013;37. <https://doi.org/10.1007/s00270-013-0711-2>
- 28 Lombardo A., Biasucci L.M., Lanza G.A. et al. Inflammation as a possible link between coronary and carotid plaque instability. *Circulation.* 2004;109:3158-3163.

Авторская справка

Галютдинова Лина Эриковна

Аспирантка кафедры лучевой диагностики и медицинской визуализации, Национальный медицинский исследовательский центр имени В.А. Алмазова.

ORCID 0000-0001-5607-8550; Lina_erikovna@mail.ru

Вклад автора: концепция и дизайн исследования, сбор и обработка материала, написание текста.

Рахманова Айдай Асановна

Студентка 6 курса лечебного факультета, Первый Санкт-Петербургский государственный медицинский университет имени академика И.П. Павлова.

ORCID 0009-0000-5323-9056; arahmanova32@gmail.com

Вклад автора: обработка данных, редактирование текста.

Филин Яна Альбертовна

Ординатор кафедры лучевой диагностики и медицинской визуализации с клиникой, Национальный медицинский исследовательский центр имени В.А. Алмазова.

ORCID 0009-0009-0778-6396; filin_yana@mail.ru

Вклад автора: анализ литературных данных, обзор литературы.

Басек Илона Владимировна

Канд. мед. наук, доцент кафедры лучевой диагностики и медицинской визуализации с клиникой, Национальный медицинский исследовательский центр имени В.А. Алмазова.

ORCID 0000-0003-4442-7228; Ilona.basek@mail.ru

Вклад автора: перевод с английского языка, подбор научной литературы.

Алексева Дарья Владимировна

Канд. мед. наук, ассистент кафедры лучевой диагностики и медицинской визуализации с клиникой, Национальный медицинский исследовательский центр имени В.А. Алмазова.

ORCID 0000-0001-9528-9377; alekseeva_dv@almazovcentre.ru

Вклад автора: перевод с английского языка, подбор научной литературы.

Труфанов Геннадий Евгеньевич

Д-р мед. наук, профессор, заведующий кафедрой лучевой диагностики и медицинской визуализации с клиникой, Национальный медицинский исследовательский центр имени В.А. Алмазова.

ORCID 0000-0002-1611-5000; trufanovge@mail.ru

Вклад автора: редактирование текста, утверждение окончательного варианта статьи для последующей публикации.

Author's reference

Lina E. Galyautdinova

Postgraduate student, Department of Radiation Diagnostics and Medical Imaging, Almazov National Medical Research Center.

ORCID 0000-0001-5607-8550; Lina_erikovna@mail.ru

Author's contribution: study concept and design, data collection and processing, writing the text.

Ayday A. Rakhmanova

6-year student, Faculty of General Medicine, First St. Petersburg State Medical University named after Academician I.P. Pavlov.

ORCID 0009-0000-5323-9056; arahmanova32@gmail.com

Author's contribution: data processing, text editing.

Yana A. Filin

Resident, Department of Radiation Diagnostics and Medical Imaging with Clinic, Almazov National Medical Research Center.

ORCID 0009-0009-0778-6396; filin_yana@mail.ru

Author's contribution: literature analysis, literature review.

Ilona V. Basek

Cand. Sci. (Med.), Associate Professor, Department of Radiation Diagnostics and Medical Imaging with Clinic, Almazov National Medical Research Center.

ORCID 0000-0003-4442-7228; Ilona.basek@mail.ru

Author's contribution: translation from English, selection of scientific literature.

Dar'ya V. Alekseeva

Cand. Sci. (Med.), Assistant, Department of Radiation Diagnostics and Medical Imaging with Clinic, Almazov National Medical Research Center.

ORCID 0000-0001-9528-9377; alekseeva_dv@almazovcentre.ru

Author's contribution: translation from English, selection of scientific literature.

Gennadiy E. Trufanov

Dr. Sci. (Med.), Professor, Head of the Department of Radiation Diagnostics and Medical Imaging with Clinic, Almazov National Medical Research Center.

ORCID 0000-0002-1611-5000; trufanovge@mail.ru

Author's contribution: editing the text, approval of the final version of the article for subsequent publication.