



Современные особенности визуализации тромбозов коронарных артерий при остром коронарном синдроме без подъема сегмента ST

Стрелкова А. В.^{1,2}, Чашин М. Г.¹, Горшков А. Ю.¹, Драпкина О. М.¹, Юрин А. В.², Гагарина Е. В.^{1,3}, Терещенко А. С.⁴

Одной из основных причин смертности во всем мире все еще остаются сердечно-сосудистые заболевания, в частности, их острые формы: острый коронарный синдром с подъемом и без подъема сегмента ST. Опубликованные данные свидетельствуют, что у ряда пациентов причиной острого коронарного синдрома без подъема сегмента ST является окклюзирующее поражение инфаркт-ответственной артерии. В современной медицине существуют как инвазивные, так и неинвазивные методы визуализации тромбозов коронарных артерий. Цель исследования — анализ и систематизация литературных данных о применяемых методах визуализации острых тромбозов. При подготовке обзора использовались публикации, индексируемые в базах PubMed, Google Scholar, Web of Science и Cyberleninka. Глубина поиска составила 5 лет, начиная с 2020г. В основу обзора вошли обобщенные данные из наиболее актуальных клинических исследований, отчетов и систематических обзоров. Проведенный анализ литературы позволил сделать заключение о том, что методы как инвазивной, так и неинвазивной визуализации имеют ряд достоинств и недостатков. В связи с этим совершенствование данных методик остается актуальной исследовательской задачей.

Ключевые слова: коронароангиография, внутрисосудистое ультразвуковое исследование, оптическая когерентная томография, магнитно-резонансная томография, мультиспиральная компьютерная томография коронарных артерий, визуализация тромбозов.

Отношения и деятельность: нет.

¹ФГБУ Национальный медицинский исследовательский центр терапии и профилактической медицины Минздрава России, Москва; ²ГБУЗ МО Одинцовская областная больница, Одинцово; ³Медицинский научно-образовательный центр, ФГБОУ ВО Московский государственный университет им. М. В. Ломоносова, Москва; ⁴ФГБУ Национальный медицинский исследовательский центр кардиологии им. акад. Е. И. Чазова Минздрава России, Москва, Россия.

Стрелкова А. В.* — м.н.с. лаборатории цифровой медицины и искусственного интеллекта; врач по рентгенэндоваскулярной диагностике и лечению, ORCID: 0000-0003-4789-1640, Чашин М. Г. — к.м.н., руководитель лабо-

ратории цифровой медицины и искусственного интеллекта, зав. отделением Липидная клиника, ORCID: 0000-0001-6292-3837, Горшков А. Ю. — к.м.н., зам. директора по научной и амбулаторно-поликлинической работе, ORCID: 0000-0002-1423-214X, Драпкина О. М. — д.м.н., профессор, академик РАН, директор, ORCID: 0000-0002-4453-8430, Юрин А. В. — врач по рентгенэндоваскулярной диагностике и лечению, ORCID: 0009-0009-9158-6724, Гагарина Е. В. — врач-рентгенолог, м.н.с. Медицинский научно-образовательный центр, ORCID: 0000-0003-3629-0591, Терещенко А. С. — к.м.н., с.н.с. отдела рентгенэндоваскулярных методов диагностики и лечения, ORCID: 0000-0002-4198-0522.

*Автор, ответственный за переписку (Corresponding author): strelkovaanya@mail.ru

АСБ — атеросклеротическая бляшка, ВСУЗИ — внутрисосудистое ультразвуковое исследование, ИОА — инфаркт-ответственная артерия, КА — коронарная артерия, КАГ — коронароангиография, МРТ — магнитно-резонансная томография, МСКТ — мультиспиральная компьютерная томография, ОКС — острый коронарный синдром, ОКСбпСТ — острый коронарный синдром без подъема сегмента ST, ОКТ — оптическая когерентная томография, ЭКГ — электрокардиография, GRACE — Global Registry of Acute Coronary Events, TTG — TIMI thrombus grade score.

Рукопись получена 23.02.2025

Рецензия получена 31.03.2025

Принята к публикации 13.04.2025



Для цитирования: Стрелкова А. В., Чашин М. Г., Горшков А. Ю., Драпкина О. М., Юрин А. В., Гагарина Е. В., Терещенко А. С. Современные особенности визуализации тромбозов коронарных артерий при остром коронарном синдроме без подъема сегмента ST. *Российский кардиологический журнал*. 2025;30(6S):6298. doi: 10.15829/1560-4071-2025-6298. EDN NXMUNZ

Modern features of coronary thrombosis imaging in non-ST-elevation acute coronary syndrome

Strelkova A. V.^{1,2}, Chashchin M. G.¹, Gorshkov A. Yu.¹, Drapkina O. M.¹, Yurin A. V.², Gagarina E. V.^{1,3}, Tereshchenko A. S.⁴

Cardiovascular diseases, in particular ST-elevation (STE-ACS) and non-ST-elevation (NSTEMI-ACS) acute coronary syndrome remain one of the main causes of death worldwide. Published data indicate that in a number of patients, the cause of NSTEMI-ACS is infarct-related artery occlusion. In modern medicine, there are both invasive and non-invasive coronary thrombosis imaging methods. The aim of the study was to analyze and systematize the literature data on coronary thrombosis imaging methods. The review was prepared using publications indexed in the PubMed, Google Scholar, Web of Science, and Cyberleninka databases. The search depth was 5 years, starting from 2020. The review is based on summarized data from the most relevant clinical studies, reports, and systematic reviews. The conducted literature analysis showed that both invasive and non-invasive imaging methods have a number of advantages and disadvantages. In this regard, improving these techniques remains an urgent research task.

Keywords: coronary angiography, intravascular ultrasound, optical coherence tomography, magnetic resonance imaging, multislice computed tomography coronary angiography, thrombosis imaging.

Relationships and Activities: none.

¹National Medical Research Center for Therapy and Preventive Medicine, Moscow; ²Odintsovo Regional Hospital, Odintsovo; ³Medical Research and Educational Center, Lomonosov Moscow State University, Moscow; ⁴Chazov National Medical Research Center of Cardiology, Moscow, Russia.

Strelkova A. V.* ORCID: 0000-0003-4789-1640, Chashchin M. G. ORCID: 0000-0001-6292-3837, Gorshkov A. Yu. ORCID: 0000-0002-1423-214X, Drapkina O. M. ORCID: 0000-0002-4453-8430, Yurin A. V. ORCID: 0009-0009-9158-6724, Gagarina E. V. ORCID: 0000-0003-3629-0591, Tereshchenko A. S. ORCID: 0000-0002-4198-0522.

*Corresponding author: strelkovaanya@mail.ru

Received: 23.02.2025 Revision Received: 31.03.2025 Accepted: 13.04.2025

For citation: Strelkova A. V., Chashchin M. G., Gorshkov A. Yu., Drapkina O. M., Yurin A. V., Gagarina E. V., Tereshchenko A. S. Modern features of coronary thrombosis imaging in non-ST-elevation acute coronary syndrome. *Russian*

Journal of Cardiology. 2025;30(6S):6298. doi: 10.15829/1560-4071-2025-6298. EDN NXMUNZ

Ключевые моменты

- Современные методы визуализации позволяют выявлять острые тромбозы инфаркт-ответственной артерии у пациентов с острым коронарным синдромом без подъема сегмента ST.
- Совершенствование используемых инструментальных методов диагностики тромботических поражений позволяет повысить качество оказания медицинской помощи пациентам кардиологического профиля.
- Систематизация данных литературы о применяемых методах визуализации острого тромбоза инфаркт-ответственной артерии у пациентов с острым коронарным синдромом без подъема сегмента ST.

Key messages

- Modern imaging methods allow to detect acute thrombosis of the infarct-related artery in patients with non-ST-elevation acute coronary syndrome.
- Improvement of thrombosis diagnosis methods allows to improve the quality of healthcare for cardiovascular patients.
- Systematization of literature data on the applied imaging methods of acute thrombosis of the infarct-related artery in patients with non-ST-elevation acute coronary syndrome.

Сердечно-сосудистые заболевания являются основной причиной смертности. Согласно данным Всемирной организации здравоохранения, ежегодно >17 млн человек умирает от сердечно-сосудистых заболеваний. В частности, ишемическая болезнь сердца является причиной летального исхода >7 млн случаев каждый год¹. По последним данным Федеральной службы государственной статистики распространенность острых форм ишемической болезни сердца в Российской Федерации варьируется в пределах 20% [1]. В настоящее время отмечается значительное увеличение доли пациентов, госпитализированных с диагнозом острого коронарного синдрома (ОКС) без подъема сегмента ST (ОКСбпST), по сравнению с долей пациентов с ОКС с подъемом сегмента ST. Согласно данным за 2022г в Российской Федерации с диагнозом ОКС было госпитализировано 438315 человек, из которых в 65,6% (n=287470) случаев был установлен диагноз ОКСбпST и только в 34,3% (n=150845) — инфаркт миокарда с подъемом сегмента ST. [2]. Этиология ОКСбпST, как правило, обусловлена прогрессированием стенозирующего атеросклероза коронарных артерий (КА) с последующим развитием неокклюзирующего тромбоза сосуда в области эрозии или надрыва покрышки атеросклеротической бляшки (АСБ) [3]. Тем не менее опубликованы данные, что в ряде случаев причиной

ОКСбпST может являться острый тромбоз инфаркт-ответственной артерии (ИОА). Так, по данным метаанализа, включавшего 40777 пациентов с диагнозом ОКСбпST, у 25,5% (n=10415) визуализировалось острое окклюзирующее поражение ИОА [4]. Схожие данные были отмечены в работе Hung CS, et al. (2018), где острый тромбоз инфаркт-ответственного сосуда диагностировался у 34% (n=17212) пациентов с данным диагнозом [5]. Авторы сходятся во мнении, что наличие острого тромбоза ИОА у пациентов с ОКСбпST сопряжено с более высокими показателями госпитальной летальности, а также большей частотой развития крупных осложнений (MACE).

Согласно актуальным клиническим рекомендациям по ведению пациентов с диагнозом ОКСбпST, тактика лечения, в т.ч. определение сроков реваскуляризации КА, основывается на стратификации риска летального исхода на госпитальном этапе и в течение 6 мес., определяемом на основании подсчета баллов по шкале GRACE (Global registry of acute coronary events) [6]. Шкала GRACE была разработана на основе данных 69 тыс. пациентов, госпитализированных с диагнозом ОКС в 94 госпиталя 14 стран Северной и Южной Америки, Европы, Австралии и Новой Зеландии за период с 1999 по 2002гг, и включает в себя следующие параметры: возраст больного, класс острой сердечной недостаточности по классификации T. Killip, факт наличия или отсутствия остановки сердечной деятельности при поступлении в стационар, показатели систолического артериального давления, частоты сердечных сокращений, а также оценку изменения сегмента ST по данным электрокардиографии (ЭКГ), уровни креатина и маркеров некроза миокарда (тропонина I) по результатам лабораторной диагностики.

¹ World Health Organization. Fact sheets: Cardiovascular diseases (CVDs). [https://www.who.int/ru/news-room/fact-sheets/detail/cardiovascular-diseases-\(cvds\)](https://www.who.int/ru/news-room/fact-sheets/detail/cardiovascular-diseases-(cvds)) (11 June 2021).

Таблица 1

Современные методы визуализации тромбозов КА

№ п/п	Метод визуализации	Визуализация тромбоза	Ограничения метода
Инвазивные методы визуализации			
1	КАГ	Нарушение контрастирования ИОА и/или наличие неровности контура сосуда	— отсутствие визуализации слоев сосудистой стенки — невозможность оценки состояния просвета — использование рентгеновского облучения
2	ВСУЗИ	Гиперэхогенная масса без тени	— визуализация ограничена при диаметре артерии $\leq 1,5$ мм — выраженный кальциноз образует акустическую тень
3	ОКТ	Внутрипросветная или пристеночная масса с неровными контурами и высокой (красный тромб) или низкой (белый тромб) степенью затухания сигнала	— низкая проникающая способность (2-3 мм) — остаточное количество крови (при недостаточном ее замещении контрастным препаратом) может имитировать тромботические массы
Неинвазивные методы визуализации			
4	МСКТ КА	Участок низкой рентгеновской плотности в виде прерывания контрастного заполнения сосуда	— оценка сосудистого просвета только в артериях диаметром ≥ 2 мм — обязательная ЭКГ-синхронизация — выраженная тахикардия — тахикардии (фибрилляция предсердий, частая экстрасистолия) — наличие выраженного кальциноза
5	МРТ сердца	"Размытый" след сигнала сосуда с включениями сигналов высокой интенсивности (метгемоглобин)	— длительное время исследования для получения изображения — запрещено проводить исследование при наличии у пациента искусственного водителя ритма и/или металлических имплантов

Сокращения: ВСУЗИ — внутрисосудистое ультразвуковое исследование, ИОА — инфаркт-ответственная артерия, КАГ — коронароангиография, МРТ — магнитно-резонансная томография, МСКТ КА — мультиспиральная компьютерная томография коронарных артерий, ОКТ — оптическая когерентная томография, ЭКГ — электрокардиография.

На основании подсчета баллов определяется риск госпитальной летальности: риск считается низким при сумме баллов ≤ 108 , средним (промежуточным) — при 109-140 баллах и высоким при сумме ≥ 141 баллов. Вероятность летального исхода пропорционально увеличивается при увеличении суммы баллов, так, у пациентов низкого риска показатели смертности составляют $< 1\%$, в группе среднего риска — от 1% до 3%, а в группе высокого риска превышают 3% [7]. Также были разработаны новые модификации данной шкалы: в 2014г была представлена обновленная версия шкалы GRACE 2.0, позволяющая оценивать риск летального исхода в отдаленном периоде (через 1 и 3 года после ОКСбпСТ) [8] и GRACE 3.0, учитывающая гендерные различия больных². Тем не менее применение новых шкал в клинической практике все еще ограничено.

Так как структура шкалы GRACE основана на оценке параметров клинического состояния пациента, у больных низкого и промежуточного рисков состояние коронарного русла может оставаться недооцененным, что потенциально ухудшает прогноз. Так, Hung CS, et al. (2018) в рамках метаанализа установили, что не было отмечено достоверной разницы между риском летальности, стратифицированным по шкале

GRACE, у пациентов как с острым тромбозом ИОА, так и у пациентов без тромботического поражения [5].

В связи с этим принятие решения о сроках проведения реваскуляризации требует индивидуального подхода в каждой клинической ситуации, что повышает актуальность изучения и совершенствования как инвазивных, так и неинвазивных методик визуализации поражений КА при ОКСбпСТ для определения наиболее верной тактики ведения пациента.

Методология исследования

При подготовке обзора использовались публикации, индексируемые в базах PubMed, Google Scholar, Web of Science и Cyberleninka. Глубина поиска составила 5 лет, начиная с 2020г. В основу обзора вошли обобщенные данные из наиболее актуальных клинических исследований, отчетов и систематических обзоров.

Результаты

Методы визуализации тромбозов КА при ОКСбпСТ

В современной медицинской практике оценить тяжесть поражения коронарного русла, а также определить тактику ведения пациента, возможно при помощи различных методов визуализации, которые можно разделить на инвазивные (коронароангиография (КАГ), внутрисосудистое ультразвуковое исследование (ВСУЗИ), оптическая когерентная томография (ОКТ))

² Wenzl FA. Global Registry of Acute Coronary Events Score 3.0. Machine learning-based risk prediction with GRACE 3.0. <https://www.grace-3.com> (2023).

Ангиографическая оценка коронарного тромбоза по шкале TTG (TIMI thrombus grade score)

Степень	Описание
TTG 0	нет ангиографических признаков тромбоза
TTG 1	вероятно наличие тромба нарушение пристеночного контрастирования, неровность контуров сосуда
TTG 2	тромб размером не более 1/2 ИОА
TTG 3	продольный размер тромба >1/2, но <2 диаметров ИОА
TTG 4	продольный размер тромба >2 диаметров ИОА
TTG 5	массивный тромбоз ИОА

Сокращения: ИОА — инфаркт ответственная артерия, TTG — TIMI thrombus grade score.

и неинвазивные (мультиспиральная компьютерная томография (МСКТ) КА, магнитно-резонансная томография (МРТ) сердца) (табл. 1).

Инвазивные методы визуализации тромбозов КА при ОКСбпСТ

КАГ

В настоящее время КАГ является золотым стандартом диагностики стенозирующего атеросклероза КА. Основной задачей КАГ является качественная визуализация каждого сегмента коронарного русла, что позволяет выявить наличие, локализацию и выраженность патологических изменений, а также определить дальнейшую тактику ведения больного [9].

При проведении КАГ тромбоз КА определяется при нарушении пристеночного контрастирования и/или неровности контура сосуда. Для оценки тяжести коронарного тромбоза была разработана шкала TIMI thrombus grade score (TTG), в основе которой лежит ангиографическая характеристика выраженности тромбоза ИОА после заведения коронарного проводника в дистальное русло сосуда через зону окклюзии. В зависимости от соотношения размера тромба относительно диаметра ИОА высчитывается индекс коронарного тромбоза в баллах от 0 до 5, где 0 — отсутствие ангиографических признаков тромбоза, а 5 — массивный тромбоз ИОА (табл. 2, рис. 1-3).

Однако несмотря на то, что КАГ является "золотым" стандартом диагностики поражений КА, данный метод обеспечивает визуализацию только проекции просвета коронарного сосуда, не позволяющую оценить непосредственно толщину сосудистой стенки и детальную геометрию просвета [10].

Для получения более детальной информации обо всех слоях сосудистой стенки, их структуре и определения наличия патологических субстратов и внутрипросветных включений в настоящее время используются методы внутрисосудистой визуализации [11]. Использование данных методов основано на получении внутрисосудистого изображения поперечного среза КА, что позволяет проводить анатомическую и морфологическую оценки сосуда [9, 12].

ВСУЗИ

Одним из таких методов является ВСУЗИ, представляющее собой метод инвазивной визуализации,

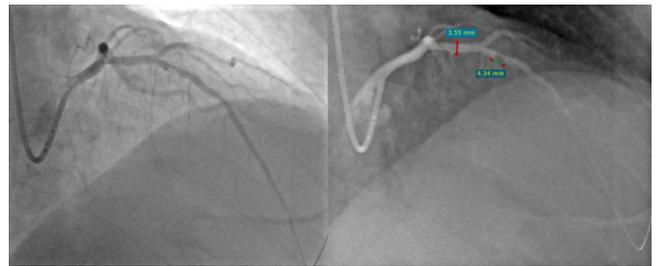


Рис. 1. КАГ: острый тромбоз среднего сегмента ПМЖВ, TTG 3.

Примечание: источник — архив РСЦ ГБУЗ МО Одинцовская ОБ.

Сокращения: КАГ — коронароангиография, ПМЖВ — передняя межжелудочковая ветвь, TTG — TIMI thrombus grade score.



Рис. 2. КАГ: острый тромбоз среднего сегмента ПКА, TTG 3.

Примечание: источник — архив РСЦ ГБУЗ МО Одинцовская ОБ.

Сокращения: КАГ — коронароангиография, ПКА — правая коронарная артерия, TTG — TIMI thrombus grade score.



Рис. 3. КАГ: массивный острый тромбоз ПКА, TTG 5.

Примечание: источник — архив РСЦ ГБУЗ МО Одинцовская ОБ.

Сокращения: КАГ — коронароангиография, ПКА — правая коронарная артерия, TTG — TIMI thrombus grade score.

основанный на преобразовании отраженного от стенок сосуда ультразвукового сигнала в томографическое изображение [10, 13]. Использование ВСУЗИ

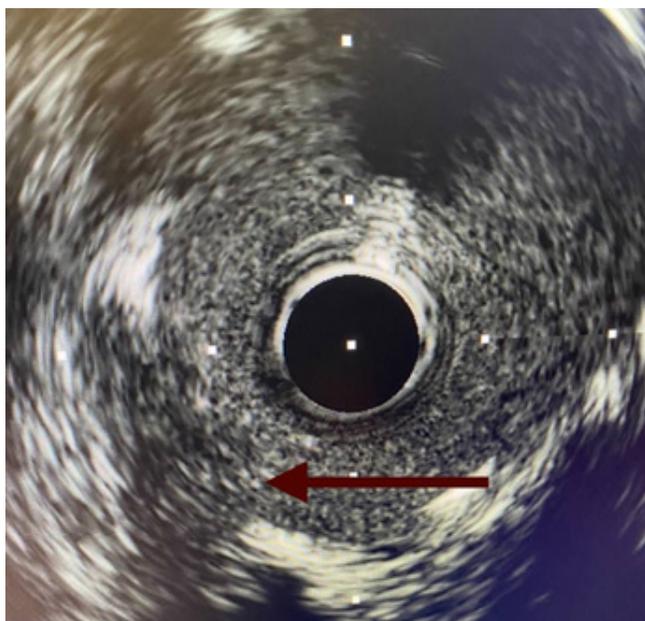


Рис. 4. ВСУЗИ-изображение красного тромба КА.

Примечание: красная стрелка указывает на локализацию красного тромба КА. Источник: архив ФГБУ НМИЦ кардиологии им. акад. Е.И. Чазова. Цветное изображение доступно в электронной версии журнала.

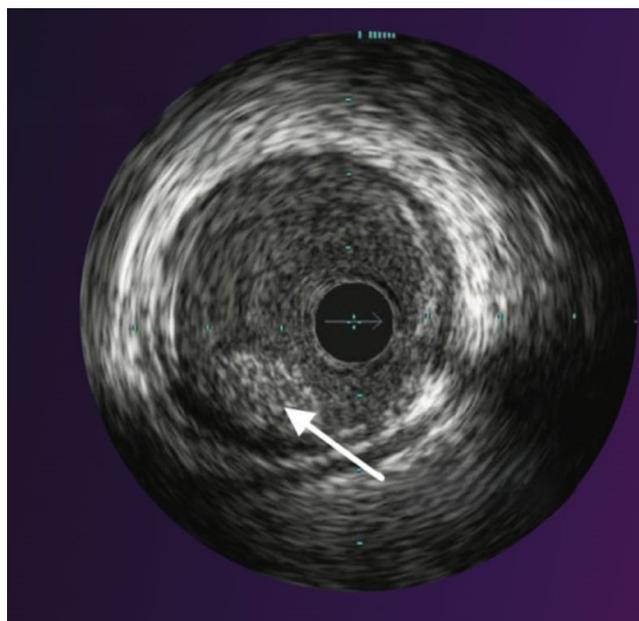


Рис. 5. ВСУЗИ-изображение белого тромба КА.

Примечание: белая стрелка указывает на локализацию белого тромба КА. Источник: <https://www.sozocardiology.com/heart-treatments/intra-vascular-ultrasound-study>. Цветное изображение доступно в электронной версии журнала.

позволяет достоверно определить морфологические характеристики АСБ, а также идентифицировать признаки ее нестабильности, наличие надрывов и изъязвлений покрышки [14-16]. При выполнении ВСУЗИ острый тромбоз выглядит как гиперэхогенная структура, без тени, свободно находящаяся в просвете сосуда [17] (рис. 4, 5).

Внутрипросветный тромб определяется как зернистая или мелкопятнистая эхо-структура с интенсивным отражением, а также мерцанием во время визуализации. В отличие от внутрипросветного, пристеночный тромбоз определяется как линейная плотная эхо-структура, располагающаяся по длине сосудистой стенки и расширяющаяся при пульсации сосуда [18]. Однако чувствительность данного метода при определении тромбозов составляет всего 33% [10]. В работе Jang IK, et al. (2002), проанализировав 42 изображения АСБ с результатами гистологического исследования, было доказано, что частота обнаружения тромботических масс при помощи ВСУЗИ значительно ниже, чем при использовании ОКТ [19]. Это обусловлено тем, что тромб при ВСУЗИ может быть распознан как фиброзная бляшка [18, 20]. Помимо этого, еще одним ограничением метода является диаметр артерии — визуализация крайне ограничена при диаметре <1,5 мм, также на качество получаемого изображения может повлиять выраженный кальциноз сосудов, образующий акустическую тень.

ОКТ

Другим перспективным методом визуализации является ОКТ, основанная на измерении времени

задержки отраженного оптического излучения инфракрасного диапазона от тканей [21]. При помощи ОКТ возможно более точно оценить интимальные и субинтимальные образования сосудистой стенки, а также различные морфологические изменения. В частности, при использовании данного метода лучше визуализируются диссекции, протрузии бляшек через стент, а также структуры тромба [13]. Чувствительность ОКТ для обнаружения тромба составляет 100% [10]. На изображениях ОКТ тромб может визуализироваться как масса, прикрепленная к сосудистой стенке, или же находящаяся в просвете сосуда [22]. В зависимости от степени рассеивания и затухания сигналов возможна визуализация тромбов 2 типов: красного и белого [22]. Красный тромб богат эритроцитами и визуализируется в виде выступа с неровными контурами, сильно рассеивающего свет и имеющего высокую степень затухания сигнала, напоминающего кровь [10, 22] (рис. 6). Белый тромб, напротив, богат тромбоцитами и представляет собой гетерогенную массу с неровными контурами, которая меньше рассеивает сигнал и имеет более низкую степень затухания [10, 22] (рис. 7).

Необходимо учитывать, что для получения качественного ОКТ-изображения во время проведения исследования необходимо тугое наполнение сосуда контрастным препаратом, т.к. остаточное количество крови в просвете может имитировать тромбы на получаемом изображении. Также еще одним ограничением метода является его низкая проникающая способность в глубину сосудистой стенки (на 2-3 мм).

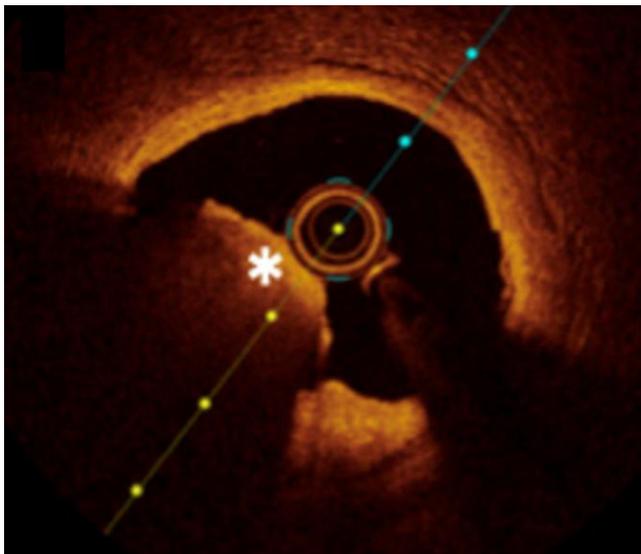


Рис. 6. ОКТ-изображение красного тромба КА.

Примечание: * — указывает на локализацию красного тромба КА. Источник: архив ФГБУ НМИЦ кардиологии им. акад. Е. И. Чазова.

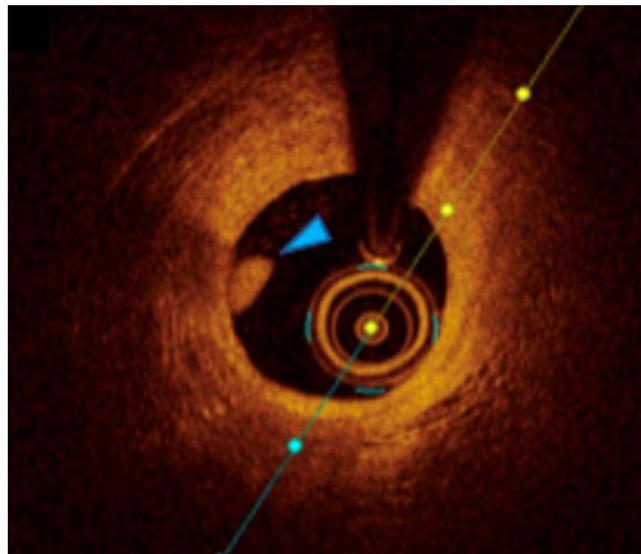


Рис. 7. ОКТ-изображение белого тромба КА.

Примечание: синяя стрелка указывает на локализацию белого тромба КА. Источник: архив ФГБУ НМИЦ кардиологии им. акад. Е. И. Чазова. Цветное изображение доступно в электронной версии журнала.

Стоит отметить, что несмотря на очевидную высокую информативность методов внутрисудистой визуализации и положительное влияние на ближайшие и отдаленные прогнозы при проведении чрескожных коронарных вмешательств под контролем ВСУЗИ или ОКТ, их повсеместное использование все еще не распространено по ряду экономических и организационных причин. Согласно данным, опубликованным Алекином Б. Г. и др. (2023) в 2023г в Российской Федерации при проведении чрескожного коронарного вмешательства ВСУЗИ использовалось лишь в 3,7% случаев, а ОКТ — в 0,3% случаев [23].

Неинвазивные методы визуализации тромбозов КА при ОКСбпСТ МСКТ

С момента внедрения в клиническую практику МСКТ с высокой пространственной и временной разрешающей способностью, появилась возможность оценивать состояние КА неинвазивным способом, получая изображения, синхронизированные с сердечными сокращениями, регистрируемыми на ЭКГ. МСКТ позволяет оценивать не только состояние просвета КА, но также и состояние сосудистой стенки. В работе Osinalde EP, et al. (2023) при сравнении информативности МСКТ КА и КАГ в определении тромбозов КА, было установлено достоверное соответствие получаемых данных ($K=0,554$, $p<0,001$) [24].

Преимуществами данного метода визуализации являются неинвазивность, быстрота выполнения исследования (~10-15 мин), возможность выполнения без применения седативных препаратов, а также высокая информативность с возможностью построения трехмерных реконструкций и виртуальных проекций [25].



Рис. 8. МСКТ-изображение острого тромбоза устья ПККА (белая стрелка) и тромба на некоронарной створке биопротеза аортального клапана (черная стрелка).

Примечание: источник — Lam MC, Kanaganayagam G, Ahmad Y, et al. Acute myocardial infarction and stroke secondary to valve thrombosis following transcatheter aortic valve replacement-what can happen when antiplatelet agents are stopped. *Quant Imaging Med Surg.* 2017;7(5):605-607. doi:10.21037/qims.2017.10.04.

Сокращения: МСКТ — мультиспиральная компьютерная томография, ПККА — правая коронарная артерия.

Тромбоз КА по данным МСКТ определяется как участок низкой рентгеновской плотности, визуализирующийся в виде прерывания контрастного заполнения сосуда, имеющим относительно низкое "затухание" [26, 27] (рис. 8).

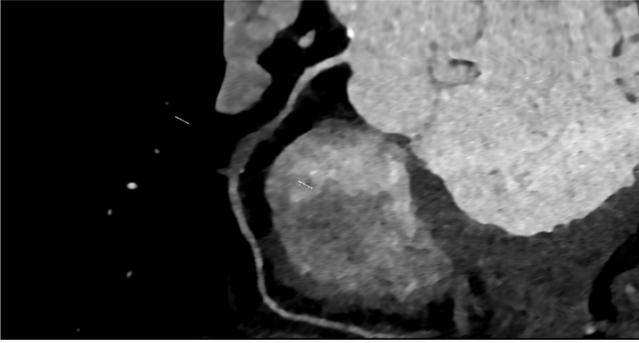


Рис. 9. МРТ-изображение острого тромбоза среднего сегмента ПКА.

Примечание: источник — архив Медицинского научно-образовательного центра ФГБОУ ВО МГУ им. М. В. Ломоносова.

Сокращения: МРТ — магнитно-резонансная томография, ПКА — правая коронарная артерия.

Тромботический участок может быть окружен компонентами АСБ неправильной формы с более высокой рентгеновской плотностью, а также значительным интраваскулярным выступом бляшки [24].

Ограничением данного метода визуализации является то, что оценить состояние сосудистого просвета возможно лишь в артериях диаметром не менее 2 мм. Помимо этого, возможно формирование артефактов, вызванных колебаниями КА на фоне частоты сердечных сокращений >75–80 уд./мин, что делает исследование неинформативным у пациентов с имплантированными водителями ритма и ресинхронизирующими устройствами, а также у пациентов с фибрилляцией предсердий и/или частой экстрасистолией. Выраженный кальциноз также существенно ограничивает качество получаемого томографического изображения. Абсолютными противопоказаниями к проведению МСКТ-диагностики поражений КА являются наличие в анамнезе тяжелых аллергических реакций (анафилактический шок, остановка дыхания и/или сердечной деятельности, судороги) на йодсодержащие контрастные препараты, острой или хронической почечной недостаточности, гипертиреоза и/или бронхиальной астмы тяжелого течения.

В упомянутой выше работе Osinalde EP, et al. (2023) было отмечено, что несмотря на высокую информативность МСКТ в визуализации тромбозов КА, в определении размеров коронарного тромба, классифицируемого по шкале TTG, соответствие результатов МСКТ с данными КАГ было статистически значимо ниже ($K=0,297$, $p=0,001$) [24]. Стоит отметить, что, согласно действующим клиническим рекомендациям, рутинное применение МСКТ КА у пациентов с диагнозом ОКСбпСТ в настоящий момент не рекомендовано [6].

МРТ

МРТ сердца — неинвазивный метод исследования, который на основании физического явления

ядерного магнитного резонанса позволяет трехмерно визуализировать структуры сердца. Исследование выполняется с обязательной синхронизацией с ЭКГ. Дополнительное использование контрастного вещества позволяет оценить морфологическое и функциональное состояние клапанного аппарата и миокарда, а именно уточнить локализацию и объем поражения сердечной мышцы. Использование данного радиоизотопного метода позволяет не только подтвердить наличие очага некроза в миокарде, но также дифференцировать ишемическую или воспалительную этиологию поражения и исключить синдром такоцубо.

Выявление тромбоза КА при помощи МРТ-визуализации основывается на оценке четкости сигнала сосуда, след которого визуализируется "размытым" при наличии тромботических компонентов. Более четко визуализировать структуру тромба возможно в режиме одновременного подавления сигналов воды и жира [28] (рис. 9).

В опубликованном клиническом случае коронарного тромбоза у пациента 45 лет, Borelli C, et al. (1997) подчеркивают, что идентифицировать тромб по данным МРТ также возможно при анализе изображений, взвешенных по времени продольной и поперечной релаксаций (T1 и T2). При наличии интраваскулярного тромба в данных режимах отмечается формирование области с сигналами высокой интенсивности, соответствующих сигналу метгемоглобина [29]. Высокая интенсивность сигнала метгемоглобина обусловлена его парамагнитными свойствами, возникающими в процессе превращения гемоглобина в метгемоглобин. Последующее преобразование метгемоглобина в гемосидерин, напротив, приводит к снижению интенсивности сигнала [30].

Высокая чувствительность данного метода неинвазивной визуализации в определении коронарных тромбозов была подтверждена в ряде работ. Так, Lombardo P, et al. (2023), выполнив 200 посмертных МРТ КА, отметили 72% чувствительность и 97% специфичность в диагностике тромбоза [31]. Схожие данные были получены Jansen HC, et al., проанализировавших МРТ снимки 11 пациентов с коронарным тромбозом и 9 пациентов без признаков тромбоза. В результате чувствительность метода в данном случае составила 91%, а специфичность — 100% [32].

Преимуществами использования МРТ-визуализации сердца и КА являются неинвазивность, отсутствие лучевой нагрузки, трехмерный характер полученного изображения, возможность оценки скорости и характера движения кровотока, а также возможность оценки перфузии миокарда с помощью парамагнитных контрастных веществ [33].

Тем не менее использование МРТ с контрастированием в качестве рутинного метода обследования у пациентов с ОКСбпСТ все еще не рекомендовано [6]. Также ограничениями использования МРТ-

визуализации являются относительно большее время получения изображения по сравнению с другими методами визуализации и невозможность обследования пациентов с искусственными водителями ритма и/или металлическими имплантами [33].

Таким образом, несмотря на наличие различных инструментальных методов визуализации коронарного русла, каждый из них также имеет ряд ограничений и недостатков. В связи с этим актуальным вопросом современной медицины является поиск неинвазивных маркеров, позволяющих на основании исследований, используемых в рутинной практике, оценить наличие или отсутствие стенозирующего атеросклероза КА или острого коронарного тромбоза. Так, в работах Астрейко А. В. (2022) и Bilgin M, et al. (2024) была продемонстрирована взаимосвязь между увеличением уровней маркеров системного воспаления и тяжестью поражения коронарного русла по данным КАГ [34, 35]. Также в литературе опубликованы данные, что на основании результатов ЭКГ и дуплексного сканирования сонных и бедренных артерий возможно провести предтестовую оценку наличия стенозирующего атеросклероза КА [36, 37]. Все большую популярность для анализа влияния большого количества клиничко-анамнестических факторов набирает метод машинного обучения. Использование алгоритмов искусственного интеллекта позволяет стратифицировать больных в зависимости от вероятности наличия не только стенозирующего поражения КА, но и острой окклюзии ИОА [38-40].

Литература/References

- Vaisman DSh, Enina EN. Coronary artery disease mortality rates in the Russian Federation and a number of regions: dynamics and structure specifics. *Cardiovascular Therapy and Prevention*. 2024;23(7):3975. (In Russ.) Вайсман Д.Ш., Енина Е.Н. Показатели смертности от ишемической болезни сердца в Российской Федерации и ряде регионов: особенности динамики и структуры. *Кардиоваскулярная терапия и профилактика*. 2024;23(7):3975. doi:10.15829/1728-8800-2024-3975.
- Zhuravleva MV, Zyryanov SK, Paleev FN, et al. Contribution of ticagrelor therapy in patients with acute coronary syndrome and patients with myocardial infarction to the achievement of State Program "Health Development" target in Russia as a whole and Russian regions in 2023-2025. *Russian Journal of Cardiology*. 2024;29(1):5700. (In Russ.) Журавлева М.В., Зырянов С.К., Палеев Ф.Н. и др. Оценка влияния применения лекарственного препарата тикагрелор у пациентов с острым коронарным синдромом и пациентов с инфарктом миокарда в анамнезе на достижение целевых индикаторов Государственной программы "Развитие здравоохранения" Российской Федерации и субъектов Российской Федерации в 2023-2025 годах. *Российский кардиологический журнал*. 2024;29(1):5700. doi:10.15829/1560-4071-2024-5700.
- Milen'kin BI, Milen'kina SG, Gavrilko AD. Cardio atlas. Clinical cases of acute coronary syndrome. М.: Умный доктор, 2022. с. 152. (In Russ.) Миленкин Б.И., Миленкина С.Г., Гаврилко А.Д. и др. Кардиоатлас. Клинические случаи острого коронарного синдрома. М.: Умный доктор, 2022. с. 152. ISBN: 978-5-6043769-6-6.
- Khan AR, Golwala H, Tripathi A, et al. Impact of total occlusion of culprit artery in acute non-ST elevation myocardial infarction: a systematic review and meta-analysis. *European Heart Journal*. 2017;38(41):3082-9. doi:10.1093/eurheartj/ehx418.
- Hung CS, Chen YH, Huang CC, et al. Prevalence and outcome of patients with non-ST segment elevation myocardial infarction with occluded "culprit" artery — a systemic review and meta-analysis. *Critical Care*. 2018;22:34. doi:10.1186/s13054-018-1944-x.
- Barbarash OL, Duplyakov DV, Zateichnikov DA, et al. 2020 Clinical practice guidelines for Acute coronary syndrome without ST segment elevation. *Russian Journal of Cardiology*. 2021;26(4):4449. (In Russ.) Барбараш О.Л., Дупляков Д.В., Затеищников Д.А. и др. Острый коронарный синдром без подъема сегмента ST электрокардиограммы. Клинические рекомендации 2020. *Российский кардиологический журнал*. 2021; 26(4):4449. doi:10.15829/1560-4071-2021-4449.
- D'Ascenzo F, Biondi-Zoccai G, Moretti C, et al. TIMI, GRACE and alternative risk scores in Acute Coronary Syndromes: A meta-analysis of 40 derivation studies on 216,552 patients and of 42 validation studies on 31,625 patients. *Contemporary clinical trials*. 2012;33(3):507-14. doi:10.1016/j.cct.2012.01.001.
- Fox KAA, FitzGerald G, Pyramir E, et al. Should patients with acute coronary disease be stratified for management according to their risk? Derivation, external validation and outcomes using the updated GRACE risk score. *BMJ Open*. 2014;4:e004425. doi:10.1136/bmjopen-2013-004425.
- Chernyavskiy AM, Bessonov IS, Badoyan AG, et al. Coronary angiography and stenting. Guide. Moscow:GEOTAR-Media, 2022. p. 328. (In Russ.) Чернявский А.М., Бессонов И.С., Бадоян А.Г. и др. Коронарная ангиография и стентирование. Руководство. Москва: ГЭОТАР-Медиа, 2022. с. 328. ISBN: 978-5-9704-7224-8.
- Chernyak AA, Deshko MS, Snezhiczkiy VA, et al. Percutaneous coronary interventions: intravascular imaging techniques and measurement of intracoronary hemodynamics. *Journal of the Grodno State Medical University*. 2020;18(5):513-22. (In Russ.) Черняк А.А., Дешко М.С., Снежицкий В.А. и др. Чрескожные коронарные вмешательства: внутрисосудистые методы визуализации и измерение внутрикоронарной гемодинамики. *Журнал Гродненского государственного медицинского университета*. 2020;18(5):513-22. doi:10.25298/2221-8785-2020-18-5-513-522.
- Endovascular surgery — technology and practices. Kokov LS, Bolomatov NV (eds). М.: RAS, 2021. p. 340. (In Russ.) Эндоваскулярная хирургия — технологии и практика. Коков Л.С., Боломатов Н.В. (ред.). М.: РАН, 2021. с. 340. ISBN: 978-5-907366-26-8.
- Asadov DA. Comparative evaluation of intravascular ultrasound and optical coherence tomography methods for imaging intravascular structures. *International Journal of Interventional Cardioangiology*. 2014;36:42-7. (In Russ.) Асадов Д.А. Сравнительная оценка методов внутрисосудистого ультразвука и оптической когерентной томографии при визуализации внутрисосудистых структур. *Международный журнал интервенционной кардиоангиологии*. 2014;36:42-7. EDN SMFXOR.
- Mironov VM, Merkulov EV, Tereshchenko AS, et al. Clinical application of a coronary intravascular ultrasound study. *Vestnik rentgenologii i radiologii*. 2013;5:38-49. (In Russ.) Мironov В.М., Меркулов Е.В., Терещенко А.С. и др. Клиническое применение внутри-

Заключение

В настоящее время тактика ведения пациентов с ОКСбпСТ варьирует от проведения немедленной КАГ с реваскуляризацией по показаниям до возможности вмешательства в плановом порядке в зависимости от стратифицированного риска по шкале GRACE. Однако в связи с тем, что данная шкала базируется на клинических показателях пациента, без учета предполагаемого объема и тяжести поражения коронарного русла, у ряда больных, по данным литературы, отмечается значительная недооценка риска. В особенности это сопряжено с более высоким риском неблагоприятного исхода у пациентов с ОКСбпСТ, обусловленным острым окклюзирующим поражением ИОА.

Несмотря на то, что для визуализации поражения коронарного русла были разработаны как инвазивные (КАГ, ВСУЗИ, ОКТ), так и неинвазивные (МСКТ и МРТ) методы исследования, каждый из методов имеет ряд преимуществ и недостатков. В связи с этим необходима модернизация существующих инструментальных методов исследования КА, а также широкое распространение высокотехнологичных внутрисосудистых методов визуализации.

Отношения и деятельность: все авторы заявляют об отсутствии потенциального конфликта интересов, требующего раскрытия в данной статье.

- сосудистого ультразвукового исследования коронарных артерий. Вестник рентгенологии и радиологии. 2013;5:38-49. EDN RSXYJ.
14. Ehara S, Kobayashi Y, Yoshiyama M, et al. Spotty calcification typifies the culprit plaque in patients with acute myocardial infarction: an intravascular ultrasound study. *Circulation*. 2004;110(22):3424-9. doi:10.1161/01.CIR.0000148131.41425.E9.
 15. Sukmanova IA, Gordeeva DS, Pinaeva AS, et al. Possibilities of using imaging methods of endovascular surgery in patients with coronary artery disease. *Bulletin of Medical Science*. 2021;4(24):67-80. (In Russ.) Сукманова И.А., Гордеева Д.С., Пинаева А.С. и др. Возможности применения визуализирующих методов рентгенэндоваскулярной хирургии у пациентов с ИБС. *Бюллетень медицинской науки*. 2021;4(24):67-80. doi:10.31684/25418475-2021-4-67.
 16. Homorodean C, Leucuta D-C, Ober M, et al. Intravascular ultrasound insights into the unstable features of the coronary atherosclerotic plaques: A systematic review and meta-analysis. *European Journal of Clinical Investigation*. 2022;52:e13671. doi:10.1111/eci.13671.
 17. Arutyunyan GK, Merkulov EV, Tereshchenko AS. Intravascular ultrasound examination: Atlas and guidelines for use in clinical practice. Moscow: Типография "Zetaprint", 2024. p. 132. (In Russ.) Арутюнян Г.К., Меркулов Е.В., Терещенко А.С. Внутрисосудистое ультразвуковое исследование: Атлас и руководство по использованию в клинической практике. Москва: Типография "Зетапринт", 2024. с. 132. ISBN 978-5-93856-804-4.
 18. Nasu K, Tsuchikane E, Kato O, et al. Impact of intramural thrombus in coronary arteries on the accuracy of tissue characterization by in vivo intravascular ultrasound radiofrequency data analysis. *The American journal of cardiology*. 2008;101(8):1079-83. doi:10.1016/j.amjcard.2007.11.064.
 19. Jang IK, Bouma BE, Kang DH, et al. Visualization of coronary atherosclerotic plaques in patients using optical coherence tomography: comparison with intravascular ultrasound. *Journal of the American College of Cardiology*. 2002;39(4):604-9. doi:10.1016/s0735-1097(01)01799-5.
 20. Kochergin NA, Kochergina AM. Intravascular Ultrasound Studies and the Vulnerable Atherosclerotic Plaque (Literature Review). *Medical visualization*. 2017;21(4):82-7. (In Russ.) Кочергин Н.А., Кочергина А.М. Внутрисосудистый ультразвук как метод выявления нестабильных атеросклеротических бляшек коронарных артерий (обзор литературы). *Медицинская визуализация*. 2017;21(4):82-7. doi:10.24835/1607-0763-2017-4-82-87.
 21. Mustafina IA, Zagidullin NSh, Ishmetov VSh, et al. Optical coherence tomography opportunities in detection of coronary plaque morphology. *Creative surgery and oncology*. 2017;7(1):54-7. (In Russ.) Мустафина И.А., Загидуллин Н.Ш., Ишметов В.Ш. и др. Оптическая когерентная томография в диагностике ишемической болезни сердца. *Креативная хирургия и онкология*. 2017;7(1):54-7. doi:10.24060/2076-3093-2017-7-1-54-57.
 22. Trusov IS, Nifontov EM, Biryukov AV, et al. The use of optical coherence tomography imaging of the vascular wall of the coronary arteries before and after stenting. *Regional blood circulation and microcirculation*. 2019;18(1):77-85. (In Russ.) Трусов И.С., Нифонтов Е.М., Бирюков А.В. и др. Применение оптической когерентной томографии в визуализации сосудистой стенки коронарных артерий до и после стентирования. *Регионарное кровообращение и микроциркуляция*. 2019;18(1):77-85. doi:10.24884/1682-6655-2019-18-1-77-85.
 23. Alekyan BG, Boytsov SA, Manoshkina EM, et al. National Results of Revascularization for Acute Coronary Syndrome in 2023. *Kardiologiya*. 2024;64(11):76-83. (In Russ.) Алякян Б.Г., Бойцов С.А., Манюшкина Е.М. и др. Российские национальные результаты реваскуляризации миокарда при остром коронарном синдроме за 2023 год. *Кардиология*. 2024;64(11):76-83. doi:10.18087/cardio.2024.11.n2733.
 24. Osinalde EP, Bastante T, Ceconi A, et al. Intracoronary thrombus assessment with cardiac computed tomography angiography in a deferred stenting strategy: the MATURE prospective study (MSTC to Assess ThrombUs REsolution). *Coronary Artery Disease*. 2023;34(3):167-76. doi:10.1097/MCA.0000000000001225.
 25. Morozov SP, Nasnikova IYu, Ternovoy SK. Multispiral computed tomography in a multidisciplinary hospital. Moscow: Nycomed distribution centre, 2009. p. 97. (In Russ.) Морозов С.П., Насникова И.Ю., Терновой С.К. Мультиспиральная компьютерная томография в многопрофильном стационаре. Москва: Никомед Дистрибьюшн Сентэ, 2009. с. 97. EDN YMIRDN.
 26. Achenbach S, Marwan M. Intracoronary thrombus. *Journal of Cardiovascular Computed Tomography*. 2009;3(5):344-5. doi:10.1016/j.jccct.2009.06.009.
 27. Ternovoy SK, Shabanova MS, Gaman SA, et al. Role of computed tomography in the detection of unstable atherosclerotic plaques of the coronary arteries: comparison of the results of computed tomography and intravascular ultrasound. *Russian Electronic Journal of Radiology*. 2016;6(3):68-79. (In Russ.) Терновой С.К., Шабанова М.С., Гаман С.А. и др. Роль компьютерной томографии в выявлении нестабильных атеросклеротических бляшек коронарных артерий: сопоставление результатов компьютерной томографии и внутрисосудистого ультразвукового исследования. *Российский электронный журнал лучевой диагностики*. 2016;6(3):68-79. doi:10.21569/2222-7415-2016-6-3-68-79.
 28. Anisimov NV, Batova SS, Pirogov Yu A. *Magnetic resonance imaging: contrast management and interdisciplinary applications*. Moscow: MAKS Press, 2013. p. 244. (In Russ.) Анисимов Н.В., Батова С.С., Пирогов Ю.А. Магнитно-резонансная томография: управление контрастом и междисциплинарные приложения. Москва: МАКС Пресс, 2013. с. 243. ISBN 978-5-317-04542-5.
 29. Borelli C, Berthezene Y, Olteanu B. Subacute Coronary Artery Thrombosis: MRI Findings. *Journal of computer assisted tomography*. 1997;21(6):962-4. doi:10.1097/00004728-199711000-00020.
 30. Kazakova SS, Khazov PD. Magnetik resonance imaging in diagnostics of cerebellar insults. *I. P. Pavlov Russian Medical Biological Herald*. 2008;16(2):136-41. (In Russ.) Казакова С.С., Хазов П.Д. Магнитно-резонансная томография в диагностике инсульта мозжечка. *Российский медико-биологический вестник имени академика И.П. Павлова*. 2008;16(2):136-41. EDN JQPXZL.
 31. Lombardo P, Lange-Herr N, Hoppe H, et al. Diagnostic accuracy of coronary artery stenosis and thrombosis assessment using unenhanced multiplanar 3D post-mortem cardiac magnetic resonance imaging. *Forensic science international*. 2023;353:111878. doi:10.1016/j.forsciint.2023.111878.
 32. Jansen CH, Perera DD, Makowski MR, et al. Detection of intracoronary thrombus by magnetic resonance imaging in patients with acute coronary syndrome. *Journal of Cardiovascular Magnetic Resonance*. 2010;12(1):O87. doi:10.1186/1532-429X-12-S1-O87.
 33. Bokeriya LA, Goluxova EZ. *Clinical cardiology: diagnosis and treatment: textbook: in 3 volumes. Volume 1*. Moscow: A. N. Bakulev National Medical Research Center for Cardiovascular Surgery, 2011. p. 662. (In Russ.) Бокерия Л.А., Голухова Е.З. Клиническая кардиология: диагностика и лечение: учебное пособие: в 3 томах. Том 1. Москва: НИИЦ ЦСХ им. А.Н. Бакулева, 2011. с. 662. ISBN: 978-5-7982-0278-2.
 34. Astreiko AV. Prognostic value of systemic inflammatory response markers in the detection of stenosing coronary artery atherosclerosis in patients with chronic coronary heart disease. *Meditsinskie novosti*. 2022;10(337):8-12. (In Russ.) Астрейко А.В. Прогностическое значение маркеров системного воспалительного ответа в выявлении стенозирующего атеросклероза коронарных артерий у пациентов с хронической ишемической болезнью сердца. *Медицинские новости*. 2022;10(337):8-12. EDN FUWNBV.
 35. Bilgin M, Akkaya E, Dokuyucu R. Evaluation of Inflammatory Markers in Predicting Coronary Complexity: Insights from the SYNTAX II Score in NSTEMI Patients. *Journal of Clinical Medicine*. 2024;13(19):5940. doi:10.3390/jcm13195940.
 36. Zhatkina MV, Gavrilova NE, Metelskaya VA, et al. Visual Scale as a Non-Invasive Method for Evaluation of Risk and Severity of Coronary Atherosclerosis. *Kardiologiya*. 2021;61(4):46-52. (In Russ.) Жаткина М.В., Гаврилова Н.Е., Метельская В.А. и др. Визуальная шкала для неинвазивной диагностики атеросклероза коронарных артерий разной степени выраженности. *Кардиология*. 2021;61(4):46-52. doi:10.18087/cardio.2021.4.n1481.
 37. Pereverzeva KG, Yakushin SS, Dubova NV. Electrocardiographic criteria for occlusive and prognostically unfavorable coronary artery disease. *Russian Journal of Cardiology*. 2024;29(3S):5699. (In Russ.) Переверзева К.Г., Якушин С.С., Дубова Н.В. Электрокардиографические критерии окклюзирующих и прогностически неблагоприятных поражений коронарных артерий. *Российский кардиологический журнал*. 2024;29(3S):5699. doi:10.15829/1560-4071-2024-5699.
 38. Tsvanyuk MM, Geltser BI, Shakhgelyan KI, et al. Parameters of complete blood count, lipid profile and their ratios in predicting obstructive coronary artery disease in patients with non-ST elevation acute coronary syndrome. *Russian Journal of Cardiology*. 2022;27(8):5079. (In Russ.) Циванюк М.М., Гельцер Б.И., Шахгельян К.И. и др. Показатели клинического анализа крови, липидного спектра и их соотношений в прогнозировании обструктивного поражения коронарных артерий у больных с острым коронарным синдромом без подъема ST. *Российский кардиологический журнал*. 2022;27(8):5079. doi:10.15829/1560-4071-2022-5079.
 39. Abdualimov TP, Obrezan AG. Detection of coronary artery disease using deep learning algorithms. *Kardiologiya: novosti, mneniya, obuchenie*. 2021;9(2):9-13. (In Russ.) Абдуалимов Т.П., Обрезан А.Г. Выявление поражения коронарных артерий при помощи алгоритмов глубокого обучения. *Кардиология: новости, мнения, обучение*. 2021;9(2):9-13. doi:10.33029/2309-1908-2021-9-2-9-13.
 40. Tsvanyuk MM, Geltser BI, Shakhgelyan KI, et al. Electrocardiographic, echocardiographic and lipid parameters in predicting obstructive coronary artery disease in patients with non-ST elevation acute coronary syndrome. *Russian Journal of Cardiology*. 2022;27(6):5036. (In Russ.) Циванюк М.М., Гельцер Б.И., Шахгельян К.И. и др. Электрокардиографические, эхокардиографические и липидные показатели в прогнозировании обструктивного поражения коронарных артерий у больных с острым коронарным синдромом без подъема сегмента ST. *Российский кардиологический журнал*. 2022;27(6):5036. doi:10.15829/1560-4071-2022-5036.