

## Трехмерная анатомическая оценка поражения коронарных артерий с помощью оптической когерентной томографии

И.В. Суслов, С.Е. Пекарский, А.Е. Баев, М.Г. Тарасов, А.А. Гороховский, Е.С. Гергерт, С.М. Султанов, Ю.И. Богданов, А.Ю. Фальковская, М.А. Манукян, С.А. Хунхинова

**Для корреспонденции:** Иван Владимирович Суслов, [straiker.acer@gmail.com](mailto:straiker.acer@gmail.com)

Поступила в редакцию 17 марта 2025 г. Исправлена 17 сентября 2025 г. Принята к печати 23 сентября 2025 г.

**Цитировать:** Суслов И.В., Пекарский С.Е., Баев А.Е., Тарасов М.Г., Гороховский А.А., Гергерт Е.С., Султанов С.М., Богданов Ю.И., Фальковская А.Ю., Манукян М.А., Хунхинова С.А. Трехмерная анатомическая оценка поражения коронарных артерий с помощью оптической когерентной томографии. *Патология кровообращения и кардиохирургия*. 2025;29(3):18-27. <https://doi.org/10.21688/1681-3472-2025-3-18-27>

### Информированное согласие

Получено информированное согласие пациентов на публикацию и использование медицинских данных в научных целях.

### Финансирование

Исследование не имело спонсорской поддержки.

### Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

### Вклад авторов

Концепция и дизайн работы: И.В. Суслов, С.Е. Пекарский, А.Е. Баев, А.А. Гороховский  
Сбор и анализ данных: И.В. Суслов, С.Е. Пекарский, С.А. Хунхинова  
Статистическая обработка данных: И.В. Суслов, С.Е. Пекарский  
Написание статьи: И.В. Суслов  
Исправление статьи: С.Е. Пекарский, А.Е. Баев, М.Г. Тарасов, А.А. Гороховский  
Обзор литературы: И.В. Суслов, С.Е. Пекарский, А.Е. Баев, М.Г. Тарасов, А.А. Гороховский, Е.С. Гергерт, А.Ю. Фальковская  
Утверждение окончательного варианта статьи: все авторы

### ORCID

И.В. Суслов, <https://orcid.org/0000-0002-0288-4191>  
С.Е. Пекарский, <https://orcid.org/0000-0002-4008-4021>  
А.Е. Баев, <https://orcid.org/0000-0002-8163-1618>  
М.Г. Тарасов, <https://orcid.org/0000-0001-5263-9488>  
А.А. Гороховский, <https://orcid.org/0000-0003-3909-9282>  
Е.С. Гергерт, <https://orcid.org/0000-0001-9464-3354>  
С.М. Султанов, <https://orcid.org/0000-0002-1569-2914>  
Ю.И. Богданов, <https://orcid.org/0000-0003-2939-6291>  
А.Ю. Фальковская, <https://orcid.org/0000-0002-5638-3034>  
М.А. Манукян, <https://orcid.org/0000-0003-3577-1895>  
С.А. Хунхинова, <https://orcid.org/0000-0002-5000-4216>

© Суслов И.В., Пекарский С.Е., Баев А.Е., Тарасов М.Г., Гороховский А.А., Гергерт Е.С., Султанов С.М., Богданов Ю.И., Фальковская А.Ю., Манукян М.А., Хунхинова С.А., 2025

Научно-исследовательский институт кардиологии – филиал Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Томский национальный исследовательский медицинский центр Российской академии наук», Томск, Российская Федерация

### Аннотация

**Актуальность.** Первым и соответственно решающим критерием для принятия решения о реваскуляризации остается анатомическая значимость стеноза, оцениваемая по уменьшению диаметра просвета  $\geq 50\%$  (т.е. одномерно). Внутрисосудистая визуализация (ВСВ) позволяет оценить степень стеноза по площади просвета (двумерно), что учитывает возможные деформации просвета и, таким образом, является более точной анатомической оценкой значимости поражений. При этом ВСВ предоставляет упорядоченные серии двумерных изображений, создавая возможность объемной оценки степени стенозирования, учитывающей как поперечную, так и продольную деформацию просвета, т.е. еще более точной оценки значимости стеноза. Однако эта возможность ВСВ в настоящее время не используется.

**Цель.** Проверить гипотезу о превосходстве объемных трехмерных характеристик стенозов, полученных с помощью упрощенного анализа данных оптической когерентной томографии (ОКТ), над стандартными двумерными и одномерными анатомическими оценками для определения значимости поражения коронарного русла.

**Методы.** В проспективное клиническое исследование включали пациентов с хронической ишемической болезнью сердца (ИБС) и высоким риском чрескожного коронарного вмешательства (ЧКВ) вследствие сложных поражений коронарных артерий. Оценка объемных характеристик поражения выполняли с помощью упрощенного анализа серии ОКТ-изображений в зоне стеноза, степень стеноза по площади и диаметру – стандартно. Значимость полученных анатомических оценок сравнивали по их связи с валидизированным показателем риска больших неблагоприятных сердечно-сосудистых событий (МАСЕ) у пациентов с ИБС после ЧКВ – SYNTAX score. Связь оценивали методом корреляционного анализа Пирсона, значимость связи определяли с использованием  $t$ -критерия Стьюдента, уровень статистической значимости был выбран как  $p < 0,05$ .

**Результаты.** В исследование включено 33 пациента, из них 6 исключили из-за невозможности выполнить ОКТ без предилатации. По данным корреляционного анализа выявили значимую положительную связь между объемной степенью стеноза и значением SYNTAX score ( $r = 0,339$ ,  $p = 0,042$ ), в то время как для двумерных оценок, в том числе для степени стенозирования по площади, такой зависимости получено не было ( $r = -0,067$ ,  $p = 0,74$ ).

**Заключение.** Объемные оценки стенозов, полученные с помощью упрощенного анализа данных ОКТ, в частности объемная степень стеноза, имеют превосходство в оценке значимости поражения и риска неблагоприятных исходов ЧКВ над существующими стандартными оценками по площади и диаметру.

**Ключевые слова:** ишемическая болезнь сердца; оптическая когерентная томография; чрескожное коронарное вмешательство



# Three-dimensional anatomical assessment of coronary artery lesions using optical coherence tomography

Ivan V. Suslov, Stanislav E. Pekarsky, Andrey E. Baev, Mikhail G. Tarasov, Alexey A. Gorokhovskiy, Egor S. Hergert, Sirgak M. Sultanov, Yuri I. Bogdanov, Alla Yu. Falkovskaya, Musheg A. Manukyan, Simzhit A. Khunkhinova

**Corresponding author:** Ivan V. Suslov,  
[straiker.acer@gmail.com](mailto:straiker.acer@gmail.com)

Received 17 March 2025. Revised 17 September 2025.  
Accepted 23 September 2025.

**How to cite:** Suslov I.V., Pekarsky S.E., Baev A.E., Tarasov M.G., Gorokhovskiy A.A., Hergert E.S., Sultanov S.M., Bogdanov Yu.I., Falkovskaya A.Yu., Manukyan M.A., Khunkhinova S.A. Three-dimensional anatomical assessment of coronary artery lesions using optical coherence tomography. *Patologiya krovoobrashcheniya i kardiokhirurgiya = Circulation Pathology and Cardiac Surgery*. 2025;29(3):18-27. (In Russ.) <https://doi.org/10.21688/1681-3472-2025-3-18-27>

**Informed consent:** The patient's informed consent to use the records for medical purposes is obtained.

**Funding:** The study did not have sponsorship.

**Conflict of interest:** The authors declare no conflict of interest.

## Contribution of the authors

Conception and study design: Ivan V. Suslov, Stanislav E. Pekarsky, Andrey E. Baev, Alexey A. Gorokhovskiy  
Data collection and analysis: Ivan V. Suslov, Stanislav E. Pekarsky, Simzhit A. Khunkhinova  
Statistical analysis: Ivan V. Suslov, Stanislav E. Pekarsky  
Drafting the article: Ivan V. Suslov  
Critical revision of the article: Stanislav E. Pekarsky, Andrey E. Baev, Mikhail G. Tarasov, Alexey A. Gorokhovskiy  
Literature review: Ivan V. Suslov, Stanislav E. Pekarsky, Andrey E. Baev, Mikhail G. Tarasov, Alexey A. Gorokhovskiy, Egor S. Hergert, Alla Yu. Falkovskaya  
Final approval of the version to be published: all authors

## ORCID

I.V. Suslov, <https://orcid.org/0000-0002-0288-4191>  
S.E. Pekarsky, <https://orcid.org/0000-0002-4008-4021>  
A.E. Baev, <https://orcid.org/0000-0002-8163-1618>  
M.G. Tarasov, <https://orcid.org/0000-0001-5263-9488>  
A.A. Gorokhovskiy, <https://orcid.org/0000-0003-3909-9282>  
E.S. Hergert, <https://orcid.org/0000-0001-9464-3354>  
S.M. Sultanov, <https://orcid.org/0000-0002-1569-2914>  
Yu.I. Bogdanov, <https://orcid.org/0000-0003-2939-6291>  
A.Yu. Falkovskaya, <https://orcid.org/0000-0002-5638-3034>  
M.A. Manukyan, <https://orcid.org/0000-0003-3577-1895>  
S.A. Khunkhinova, <https://orcid.org/0000-0002-5000-4216>

© 2025 Suslov et al.

Cardiology Research Institute, Tomsk National Research Medical Center, Russian Academy of Sciences, Tomsk, Russian Federation

## Abstract

**Background:** The first and, thereby, decisive criterion for making a decision on myocardial revascularization is an anatomical severity of the coronary artery stenosis assessed by the decrease of lumen diameter  $\geq 50\%$  (i.e., one-dimensionally). Intravascular imaging (IVI) enables to assess the stenosis by the decrease of the lumen area (two-dimensionally) that is a more accurate anatomical assessment of the extent of lesions since it takes into account possible lumen deformations. Moreover, IVI provides ordered series of two-dimensional images and enables volumetric assessment of the degree of stenosis, considering both transverse and longitudinal lumen deformation, i.e., an even more accurate assessment of the stenosis severity. However, this capability of IVI is currently not fully utilized.

**Objective:** The study was aimed at testing the hypothesis on the superiority of volumetric three-dimensional characteristics of stenoses obtained using simplified analysis of optical coherence tomography (OCT) data over standard two-dimensional and one-dimensional anatomical assessments for determining the severity of coronary lesions.

**Methods:** This prospective clinical study included patients with chronic coronary artery disease (CAD) and a high risk of percutaneous coronary intervention (PCI) due to complex coronary lesions. Volumetric characteristics of the lesions were assessed by simplified analysis of serial OCT images; the degree of the stenosis by area and diameter was measured in standard way. The significance of the obtained anatomical data was compared by their relationship with the validated indicator of the risk of major adverse cardiovascular events (MACE) in patients with coronary artery disease undergoing PCI – SYNTAX score. The relationship was assessed using Pearson correlation analysis; the significance of the coefficients was assessed by Student's *t*-criterion; *p*-value < 0.05 was considered statistically significant.

**Results:** The study included 33 patients, of whom 5 were excluded due to the inability to perform OCT without predilatation. A significant positive relationship was found between the volumetric degree of stenosis and the SYNTAX score ( $r = 0.339$ ,  $p = 0.042$ ) whereas the two- and one-dimensional parameters, including the decrease of lumen area, failed to demonstrate such relationship ( $r = -0.067$ ,  $p = 0.74$ ).

**Conclusion:** Volumetric stenosis assessments, in particular the volumetric stenosis degree, obtained using simplified OCT data analysis are superior in assessing lesion severity and the risk of adverse PCI outcomes compared to existing standard area and diameter assessments, i.e., 2- and 1-dimensional assessments.

**Keywords:** coronary artery disease; tomography; optical coherence; percutaneous coronary intervention



## Введение

Ишемическая болезнь сердца (ИБС) занимает 5-е место в рейтинге заболеваемости среди населения и остается главной причиной смертности взрослого населения России [1]. Согласно данным Росстата, смертность от ИБС в 2022 г. составила 307,4 на 100 000 населения. Эффективным патогенетическим способом лечения данной патологии является реваскуляризация миокарда, выполняемая эндоваскулярным способом или посредством открытой хирургии. Именно сочетание хирургической радикальности и малой травматичности сделало стентирование коронарных артерий ведущим способом лечения ИБС: сегодня в России количество проводимых операций чрескожного коронарного вмешательства (ЧКВ) почти в 10 раз превышает количество операций коронарного шунтирования (КШ): 324 548 и 35 458 соответственно [2].

Независимо от метода реваскуляризации первым и соответственно решающим критерием для ее проведения является анатомическая значимость поражения по степени сужения просвета артерии. Анатомически не значимые поражения признаются необструктивными, не рассматриваются на предмет реваскуляризации, их функциональная оценка не проводится, а если проводится и дает положительный результат, то в лучшем случае это рассматривается как микрососудистая ИБС/дисфункция, также не подлежащая реваскуляризации. Согласно действующим клиническим рекомендациям по лечению пациентов с хронической ИБС критерием анатомической значимости является уменьшение диаметра артерии  $\geq 50\%$ , которое, по данным экспериментальных исследований, способно ограничивать коронарный кровоток и перфузию миокарда при нагрузке, т.е. вызывать ишемию миокарда и повышать риск неблагоприятных сердечно-сосудистых событий [3; 4]. Оценивается же анатомическая значимость предельно просто – по уменьшению диаметра просвета артерии, что представляет собой одномерную минимально точную оценку. Минимальная точность обусловлена критической зависимостью от ангиографической проекции. При этом в обычной практике не обязательно будет получена проекция с максимальной степенью стенозирования, поскольку углы наклона детектора изображения ограничены, а поворот плоскости стола рутинно не используется. Низкая разрешающая способность ангиографии добавляет существенную дополнительную ошибку в измерения диаметров.

Большой шаг вперед в повышении точности анатомической оценки значимости стенозов представляет собой их оценка с помощью внутрисосудистой визуализации (ВСВ). Анализ изображений поперечных

срезов артерий позволяет рассчитать степень стеноза по фактической площади просвета сосуда, что представляет собой уже двумерную (2D) анатомическую оценку значимости поражения, учитывающую асимметрию сужения и реальную площадь асимметричного просвета артерии, что является более точным. Однако ВСВ предоставляют не просто изображения поперечных срезов артерии, а упорядоченные серии таких изображений, открывая возможность объемной (3D) оценки степени стенозирования, что, безусловно, является еще более точной оценкой значимости поражений по сравнению с двумерной (2D) оценкой, поскольку учитывает не только степень максимального сужения просвета, но также и трехмерную (3D) геометрию сужения на протяжении: аксиальную распространенность, форму и вариабельность. К сожалению, данный потенциал ВСВ для оптимизации ЧКВ в настоящее время не используется, а существующие системы ВСВ не предоставляют возможность расчета объемных показателей.

Мы разработали доступный для применения в рутинной практике вариант упрощенной оценки объемной степени стеноза, требующий для анализа минимальное количество срезов, получаемых методом оптической когерентной томографии (ОКТ). В данной статье мы представляем результаты его первичного тестирования в клиническом исследовании. Поскольку ВСВ сегодня используется практически исключительно в контексте ЧКВ, оценить значимость показателей непосредственно по связи с естественным течением и исходами ИБС не представляется возможным. Мы использовали в качестве суррогатного критерия сердечно-сосудистого риска SYNTAX score, который, по данным нескольких рандомизированных клинических испытаний (РКИ) и мета-анализов SYNTAX score, является наиболее валидизированным количественным маркером риска больших неблагоприятных сердечно-сосудистых событий (МАССЕ) у пациентов, подвергаемых ЧКВ, а также в целом у пациентов с ИБС [5–9].

Цель исследования – проверить гипотезу о превосходстве объемных трехмерных характеристик стенозов, полученных с помощью упрощенного анализа данных ОКТ, над стандартными двумерными и одномерными анатомическими оценками для определения значимости поражения коронарного русла.

## Методы

Данное исследование является частью выполняемого в НИИ кардиологии ТНИМЦ «Перспективного, рандомизированного, контролируемого исследования эффективности и безопасности ОКТ-ассис-

тированной коррекции дефектов имплантации стентов», одобренного Комитетом по биомедицинской этике НИИ кардиологии ТНИМЦ (протокол № 232 от 26 октября 2022 г.). Исследование проводится в соответствии с действующей версией Хельсинкской декларации Всемирной медицинской ассоциации, применимыми международными и национальными стандартами проведения клинических исследований. Все пациенты, включенные в данное исследование, дали свое информированное согласие на участие в исследовании.

Популяцию исследования составляют пациенты с хронической ИБС и высоким риском ЧКВ вследствие анатомической сложности поражений коронарных артерий и/или коморбидности, которым, согласно внутреннему протоколу НИИ кардиологии ТНИМЦ, вмешательства выполняются под контролем ОКТ. Критерии включения в исследование:

- 1) возраст старше 18 лет;
- 2) показания к реваскуляризации и техническая возможность выполнить ЧКВ;
- 3) хотя бы один из критериев высокого риска ЧКВ (стволовое поражение, длинное поражение >28 мм, бифуркационное поражение, кальцинированное поражение, по данным коронарной ангиографии, сопутствующий диабет);
- 4) поражение передней нисходящей артерии;
- 5) письменное согласие пациента на участие в исследовании.

Критериями исключения были:

- 1) наличие противопоказаний к проведению ЧКВ и/или ОКТ;
- 2) совместное решение о преимуществе коронарного шунтирования;
- 3) тяжелые сопутствующие заболевания или состояния, которые существенно увеличивают риск вмешательства;
- 4) отзыв пациентом согласия на участие в исследовании.

Дополнительным критерием исключения была невозможность выполнить исходное ОКТ без предилатации.

Процедура ЧКВ выполнялась в рентген-операционной, оснащенной ангиографической системой Azurion 7 (Philips, Нидерланды). Доступ осуществлялся через правую лучевую артерию с использованием проводниковых катетеров 6 Fr. ОКТ выполнялась с применением системы OPTIS™ System (St.Jude Medical, США) и катетеров Dragonfly OpStar™ imaging catheter (Abbott, США). После проведения катетера по 0,014"-проводнику в зону целевого поражения выполнялась инъекция контрастного вещества

в просвет сосуда с целью создания оптического окна для ОКТ и проводилось сканирование сегмента длиной 54 мм со стандартной скоростью 20 мм/с. При большей длине зоны интереса сканирование выполнялось в два приема. Затем выполнялось ОКТ-ассистированное ЧКВ на основе предложенного ранее и оптимизированного в нашем учреждении алгоритма, методология интраоперационной оценки ОКТ представлена в ранее опубликованной статье [10].

*Упрощенный метод объемной (3D) оценки стенозов по данным ОКТ.* С целью обеспечения возможности немедленного использования метода для расчета объемных показателей использовались поперечные изображения артерии с интервалом в 5 мм (для стенозов ≤1 см – с интервалом в 2 мм), т.е. каждое 25-е (10-е) из получаемой при ОКТ последовательности в 270 изображений с интервалом 0,2 мм. Площадь среза на протяжении интервала между срезами принималась неизменной. Таким образом, были определены объемные поперечные срезы толщиной 5 мм (2 мм для стенозов ≤1 см). Площадь среза определялась как площадь внутри наружной эластической мембраны (НЭМ) при ее наличии или как площадь просвета при ее отсутствии; объем среза рассчитывался по формуле

$$V = S \times L,$$

где  $V$  – объем среза;  $S$  – площадь среза;  $L$  – расстояние между оригинальными (0,2 мм) срезами ОКТ, выбранными для упрощенного анализа ( $L = 5$  мм для стенозов ≥1 см,  $L = 2$  мм для стенозов ≤1 см).

На основании полученных значений оценивали следующие показатели.

- 1. Референсный объем.** Рассчитывался при наличии НЭМ путем суммирования объемов внутри НЭМ для всех срезов на протяжении стеноза; при ее отсутствии референсный объем приближенно рассчитывался по формуле объема усеченного конуса, где площади проксимального и дистального референсных сегментов (первого и последнего срезов) использовались как основания, а расстояние между ними – как высота.
- 2. Объем просвета стенозированного сегмента.** Рассчитывался как сумма объемов просвета всех 5 мм срезов на протяжении стеноза.
- 3. Объем стенозирования сосуда (абсолютное значение объема бляшки).** Рассчитывался как разность референсного объема и объема просвета стенозированного сегмента.
- 4. Объемная степень стеноза.** Рассчитывалась как относительная разность в процентах: (референсный объем – объем просвета стенозированного сегмента) × 100 : референсный объем.

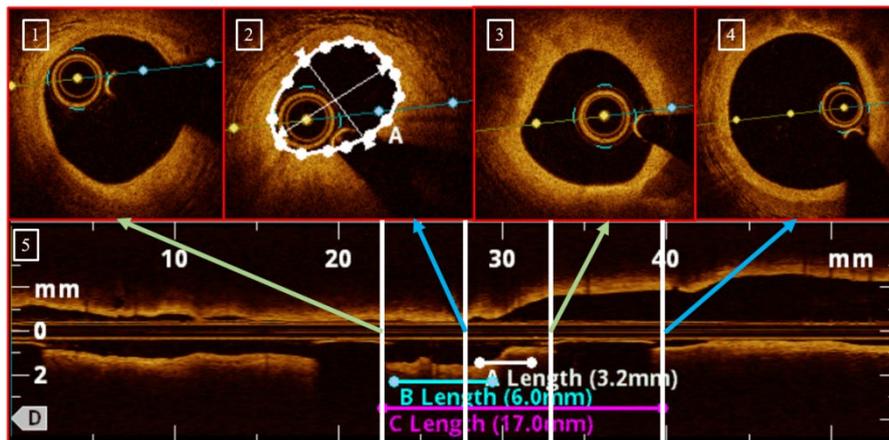


Рис. 1. Пример расчета объемных характеристик поражения:

панель 1 – дистальный референсный срез, площадь просвета – 3,63 мм<sup>2</sup>; объем 5-мм участка составляет 18,15 мм<sup>3</sup>;  
панель 2 – следующий срез, площадь просвета – 2,96 мм<sup>2</sup>; объем 5-мм участка составляет 14,80 мм<sup>3</sup>;  
панель 3 – следующий срез, площадь просвета – 3,91 мм<sup>2</sup>; объем 5-мм участка составляет 19,55 мм<sup>3</sup>;  
панель 4 – проксимальный референсный срез, площадь просвета – 5,86 мм<sup>2</sup>; объем 5-мм участка составляет 29,30 мм<sup>3</sup>;  
панель 5 – продольный срез исследуемого сосуда. С учетом неудовлетворительной визуализации НЭМ на проксимальном участке расчет референсного объема будет производиться по формуле усеченного конуса, где проксимальный и дистальный срезы – основания. Референсный объем равен 94,90 мм<sup>3</sup>. Сумма объемов всех срезов равна 52,5 мм<sup>3</sup>. Объем стеноза в этом случае составляет 18 мм<sup>3</sup>. Объемная степень стеноза равна 26 %

Пример расчета объемных характеристик поражения представлен на рис. 1.

Для удобства практического применения данной методики было разработано небольшое приложение, которое автоматически рассчитывает объемные характеристики стеноза на основе серии (5–7) последовательных значений площади просвета/НЭМ.

Во время ЧКВ все пациенты получали антикоагулянтную терапию нефракционированным гепарином под контролем активированного времени свертывания (АВС) в диапазоне 250–300 с. Пациентам имплантировались стенты с лекарственным покрытием (СЛП) 2-го поколения. В качестве медикаментозной терапии все получали двойную антитромбоцитарную терапию (ДАТТ) в соответствии с действующими клиническими рекомендациями. После ЧКВ ДАТТ была рекомендована всем пациентам.

**Статистический анализ.** Количественные переменные представлены как средние значения (с 95 % доверительным интервалом (ДИ)), качественные – как  $n$  (%). Парный  $t$ -тест Стьюдента был использован для сравнения значений количественных признаков, распределенных по нормальному закону, при значимых отклонениях от нормального закона использовался тест Манна – Уитни. Сравнение категориальных переменных выполнялось с использованием критерия  $\chi^2$ /точного критерия Фишера. Количественная связь между количественными переменными оценивалась

при помощи корреляционного анализа Пирсона, значимость корреляций оценивалась с использованием  $t$ -критерия Стьюдента. Значение  $p < 0,05$  было принято как уровень статистической значимости. Весь анализ был проведен при помощи пакета программ Statistica 10 (StatSoft, Inc., США).

## Результаты

В исследование было включено 33 пациента (37 поражений, подлежащих стентированию, преимущественно в передней нисходящей артерии (ПНА)), страдающих стабильной ИБС. Из них 6 (6 поражений) пациентов было исключено по причине невозможности выполнить ОКТ без предварительной подготовки поражения и, таким образом, деформации просвета и невозможности оценить исходный объем пораженного участка сосуда. Еще 4 поражения, локализация которых отличается от ПНА, было исключено из анализа для обеспечения гомогенности выборки. Таким образом, в окончательный анализ включено 27 пациентов (27 поражений ПНА).

Средний возраст пациентов составил 65,7 [62,2; 69,1] года. Выборка состояла преимущественно из мужчин (59,3 %). Значительно чаще встречался второй функциональный класс ИБС – в 17 (63,0 %) случаях. Практически половина пациентов также имела сахарный диабет (СД) в анамнезе (40,7 % случаев), большинство – дислипидемию

(88,9 % случаев). Однако при этом фракция выброса, по данным эхокардиографии (ЭхоКГ), у всех пациентов была сохранена (62,6 [59,8; 65,3] %), а также не было выраженных отклонений в величине скорости клубочковой фильтрации (СКФ) (78,2 [71,9; 84,4] мл/мин/1,73 м<sup>2</sup>).

Во всех случаях степень стенозирования коронарных артерий была более 50 % по диаметру, по данным коронарографии. По данным ОКТ, минимальная площадь просвета составила 1,86 [1,57; 2,16] мм. Степень стенозирования по площади при этом равнялась 70,5 [66,2; 74,9] %. Среднее значение диаметра имплантируемого стента ПНА составило 3,28 [3,14; 3,41] мм, длины – 40,9 [35,3; 36,5] мм. Всем пациентам на этапе подготовки поражения выполнялась преддилатация, что позволило раскрывать стенты с использованием небольшого давления (9,3 [7,8; 10,9] атм). Тем не менее при выполнении ОКТ-контроля практически всегда регистрировалось недораскрытие, что требовало постдилатации.

Несмотря на сравнительно большой объем вводимого рентгеноконтрастного вещества (262,7 [229,9; 295,6] мл), контраст-индуцированной нефропатии ни у одного пациента не было выявлено.

Базовая характеристика пациентов и характеристика выполненных ЧКВ представлены в табл. 1 и 2 соответственно.

**Табл. 1.** Базовая характеристика исследуемых пациентов

Наименование	ГР А
Возраст, лет [95 % ДИ]	65,7 [62,2; 69,1]
Женский пол, <i>n</i> (%)	11 (40,7)
Стенокардия напряжения, <i>n</i> (%)	
ФК I, <i>n</i> (%)	5 (18,5)
ФК II, <i>n</i> (%)	17 (63,0)
ФК III, <i>n</i> (%)	5 (18,5)
ПИКС, <i>n</i> (%)	5 (18,5)
ФП, <i>n</i> (%)	5 (18,5)
СД, <i>n</i> (%)	11 (40,7)
Периферический атеросклероз, <i>n</i> (%)	9 (33,3)
Дислипидемия, <i>n</i> (%)	24 (88,9)
ИМТ, кг/м <sup>2</sup> [95 % ДИ]	30,6 [28,3; 33,0]
Курение, <i>n</i> (%)	9 (27,3)
Гликированный гемоглобин, % [95 % ДИ]	7,11 [5,99; 8,23]
СКФ, мл/мин/1,73 м <sup>2</sup> [95 % ДИ]	78,2 [71,9; 84,4]
ФВ ЛЖ, % [95 % ДИ]	62,6 [59,8; 65,3]

*Примечание.* ДИ – доверительный интервал; ИМТ – индекс массы тела; ПИКС – постинфарктный кардиосклероз; СД – сахарный диабет; СКФ – скорость клубочковой фильтрации (рассчитывалась по формуле СКД-ЕРП); ФВ ЛЖ – фракция выброса левого желудочка; ФК – функциональный класс стенокардии; ФП – фибрилляция предсердий.

**Табл. 2.** Характеристика ЧКВ

Наименование	ГР А
Степень стенозирования КА	
ПНА, % [95 % ДИ]	70,7 [66,4; 75,0]
ДА, % [95 % ДИ]	57,5 [46,6; 68,4]
ОА, % [95 % ДИ]	61,5 [50,5; 72,5]
ПКА, % [95 % ДИ]	62,5 [49,0; 76,0]
Распространенность поражений	
1. По артериям	
ПНА, <i>n</i> (%)	27 (100)
ДА, <i>n</i> (%)	8 (29,6)
ОА, <i>n</i> (%)	10 (37,0)
ПКА, <i>n</i> (%)	11 (47,4)
2. По количеству сосудов	
1-сосудистое, <i>n</i> (%)	9 (33,3)
2-сосудистое, <i>n</i> (%)	11 (47,4)
3-сосудистое, <i>n</i> (%)	7 (25,9)
SYNTAX score:	
Исходный [95 % ДИ]	17,1 [14,2; 20,0]
Остаточный [95 % ДИ]	4,1 [2,1; 6,1]
Стенозы	
Степень стеноза по площади, % [95 % ДИ]	70,5 [66,2; 74,9]
МПП по данным ОКТ, мм <sup>2</sup> [95 % ДИ]	1,86 [1,57; 2,16]
Протяженность поражения по данным ОКТ, мм [95 % ДИ]	37,9 [32,9; 43,0]
Перипроцедурная характеристика	
Длительность ЧКВ, мин [95 % ДИ]	117,6 [96,3; 138,9]
Лучевая нагрузка, мЗв [95 % ДИ]	5,8 [4,5; 7,1]
Объем вводимого контрастного вещества, мл [95 % ДИ]	262,7 [229,9; 295,6]
Характеристика установленного стента	
Диаметр, мм [95 % ДИ]	3,28 [3,14; 3,41]
Длина, мм [95 % ДИ]	40,9 [35,3; 36,5]
Давление преддилатации, атм [95 % ДИ]	12,4 [9,7; 15,1]
Давление раскрытия стента, атм [95 % ДИ]	9,3 [7,8; 10,9]
Давление постдилатации, атм [95 % ДИ]	18,3 [16,3; 20,3]
Креатинин после вмешательства, мкмоль/л [95 % ДИ]	86,7 [79,6; 93,9]
СКФ после вмешательства, мл/мин/1,73 м <sup>2</sup> [95 % ДИ]	69,9 [63,4; 76,4]

*Примечание.* ДА – диагональная артерия; ДИ – доверительный интервал; КА – коронарная артерия; МПП – минимальная площадь просвета; ОА – огибающая артерия; ОКТ – оптическая когерентная томография; ПКА – правая коронарная артерия; ПНА – передняя нисходящая артерия; СКФ – скорость клубочковой фильтрации; ЧКВ – чрескожное коронарное вмешательство. Сосуд являлся пораженным в случае степени стенозирования по диаметру (определялась ангиографически) ≥ 50 %.

**Табл. 3.** Оценка объемных характеристик стенозов

Наименование	Значение
Референсный объем сосуда, мм <sup>3</sup> [95 % ДИ]	238,9 [197,2; 280,5]
Объем стенозированного сосуда, мм <sup>3</sup> [95 % ДИ]	182,6 [150,3; 214,9]
Объемная степень стеноза, % [95 % ДИ]	24,4 [19,5; 29,2]
Объем сосуда после стентирования, мм <sup>3</sup> [95 % ДИ]	318,2 [276,8; 359,6]
Объемная степень раскрытия, % [95 % ДИ]	141,8 [125,5; 158,1]

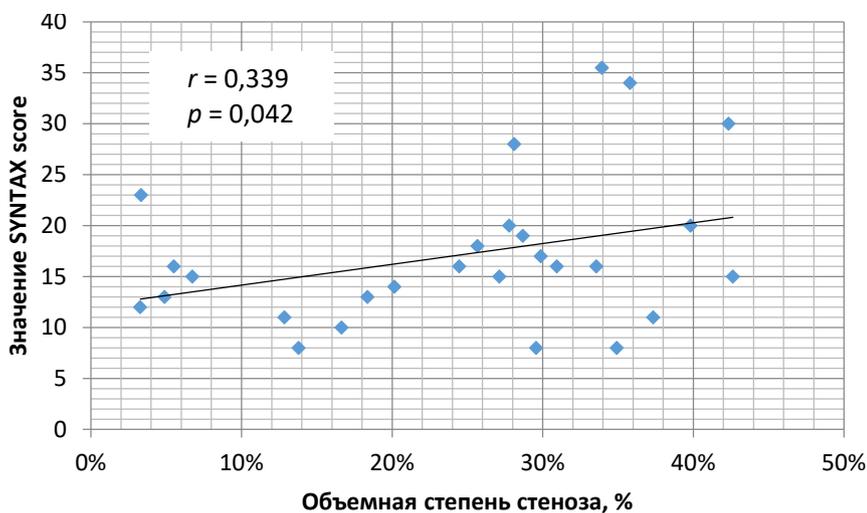
Примечание. ДИ – доверительный интервал.

Среднее значение объема стенозированного сосуда составило 182,6 [150,3; 214,9] мм<sup>3</sup>, среднее значение референсного объема – 238,9 [197,2; 280,5] мм<sup>3</sup>. Исходя из этого средняя объемная степень стеноза составила 24,4 [19,5; 29,2] %.

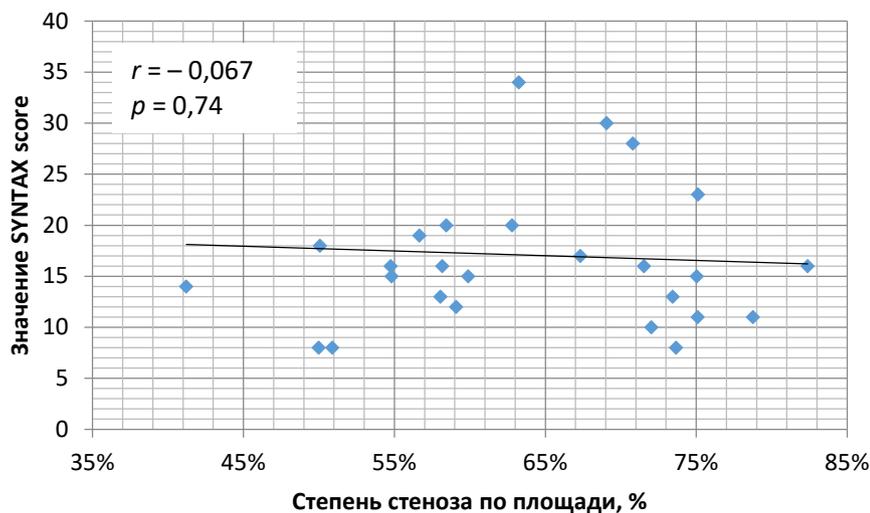
В табл. 3 представлена оценка объемных характеристик стенозов.

По результатам корреляционного анализа связи между объемом стенозированного сосуда и SYNTAX score выявлено не было ( $r = 0,177, p = 0,38$ ). Тем не менее была выявлена прямая линейная связь между объемной степенью стеноза и значением SYNTAX score ( $r = 0,339, p = 0,042$ ). Указанная связь показана на рис. 2.

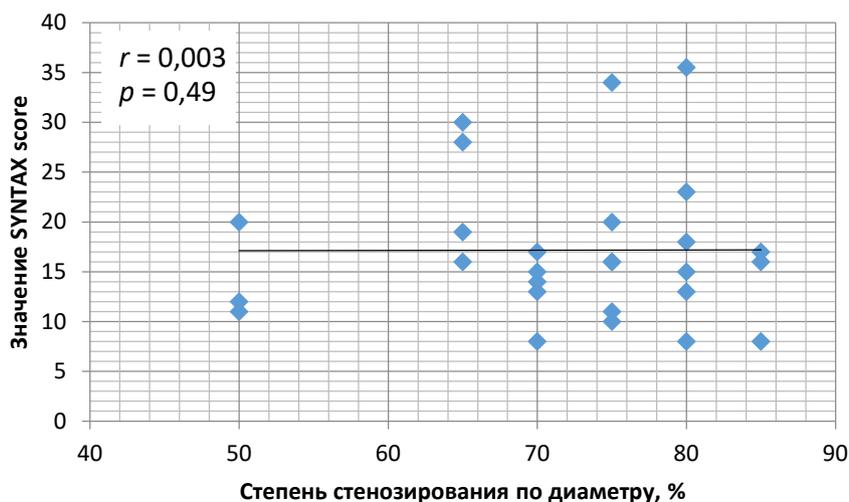
**Рис. 2.** Зависимость объемной степени стенозирования сосуда от значения SYNTAX score



**Рис. 3.** Оценка зависимости степени стенозирования коронарной артерии по площади от значения SYNTAX score



**Рис. 4.** Оценка зависимости степени стенозирования коронарной артерии по диаметру от значения SYNTAX score



При этом для двумерных параметров такой зависимости получено не было. В частности, для минимальной площади просвета коронарной артерии такой коэффициент корреляции и его значимость были  $r = -0,03$ ,  $p = 0,44$ , а для степени стенозирования сосуда по площади –  $r = -0,067$ ,  $p = 0,74$  (рис. 3). На рис. 4 представлена оценка зависимости степени стенозирования коронарной артерии по диаметру, по данным ангиографии, и значения SYNTAX score.

### Обсуждение

В данной работе мы представили упрощенный способ объемной (3D) оценки стенозов, который можно немедленно применить на практике, не дожидаясь, когда возможность 3D-измерений будет реализована в программном обеспечении приборов. И даже такая упрощенная объемная оценка стенозирования продемонстрировала качественное преимущество перед существующей двумерной оценкой по площади. Более тесная связь объемной степени стенозирования с SYNTAX score означает большую значимость данной объемной характеристики как показателя риска, ассоциированного с поражением коронарного русла. Очевидно, что при одной и той же степени уменьшения диаметра и/или площади сосуда его гемодинамический эффект будет существенно различаться при разной длине поражения и нерегулярности его профиля по длине поражения. Несомненно, на фоне прогрессирования патологического процесса мы естественным образом ожидаем увеличения как степени максимального локального сужения, так и длины стеноза, т.е. объема поражения, что не менее естественным образом увеличивает тяжесть последствий такого поражения. Соответственно локальная одномерная или двумерная оценка стеноза по диаметру/площади

серьезно недооценивает значимость длинных нерегулярных поражений при относительно невысокой степени их максимального сужения. Так, например, длинный стеноз >30 мм и с максимальной степенью сужения 40 % в реальности в не меньшей степени ограничивает коронарный кровоток, чем короткий 5 мм локальный стеноз 60 %, соответственно он может иметь аналогичные последствия. Однако существующие сегодня методы одномерной оценки по диаметру и двумерной оценки по площади в противоположность характеризуют его как не значимый и не требующий вмешательства. Можно также предположить, что дискордантность между максимальной анатомической степенью стеноза и его функциональной оценкой методами ФРК/мРК отчасти объясняется недоучетом аксиальной распространенности стенозов при анатомической оценке, в то время как эта распространенность оказывает явное влияние на уровень сопротивления кровотоку, оказываемого стенозом, и соответственно на трансстенотический градиент.

Попытки прогнозирования риска ЧКВ при помощи ОКТ сегодня основаны преимущественно на данных о морфологии поражения. В исследовании Roleder T. и соавт., сравнивавшем риск недораскрытия при стентировании бляшек, бедных липидами (LLB), и бляшек, богатых липидами (HLB), выяснили, что риск недораскрытия несколько выше у пациентов с LLB [11]. В контексте данного исследования статистически значимая разница была получена именно для объемного показателя – среднего объема бляшки (MPV), мм<sup>3</sup>.

Его результаты в том числе основаны на ранее проводившихся исследованиях, продемонстрировавших, что HLB коррелирует с тонкостенной фиброатеромой (ТФА) [12; 13]. При этом в исследованиях с применением ОКТ было показано, что ТФА ассоции-

рована с острым инфарктом миокарда типа IVa – ЧКВ-ассоциированным инфарктом [14].

На наш взгляд, несмотря на отсутствие возможности визуализации НЭМ на всем протяжении исследуемого участка сосуда, наиболее удобным методом оценки объемных характеристик поражения является именно ОКТ. Обусловлено это несколькими факторами. Во-первых, фиксированной скоростью протяжки, позволяющей обеспечить более высокую точность оценки расстояния между различными участками артерии [15]. Во-вторых, современным программным обеспечением. Для консолей OPTIS™ Mobile System было разработано программное обеспечение AptiVue™, которое автоматически очерчивает контур просвета артерии и рассчитывает диаметры и площадь на выбранном кадре. При наличии удовлетворительного оптического окна оценка программы несколько не уступает оценке оператора.

Рутинное применение предлагаемого нами способа оценки объемных характеристик поражения в клинической практике позволит лучше прогнозировать результаты ЧКВ, а также даст возможность расширить показания к реваскуляризации за счет вмешательства на сосудах со степенью стенозирования менее 50 % по диаметру, но за счет протяженности обладающих функционально значимым ограничением кровотока. Также объемные характеристики потенциально имеют преимущество при интраоперационной оценке результата стентирования и необходимости дополнительной оптимизации – при одинаковой степени минимального раскрытия, например 80 %, остаточное сопротивление кровотоку будет существенно зависеть от длины

стентированного сегмента и раскрытия на всем протяжении стеноза, т.е. минимальное раскрытие >80 % может быть эффективным для стенозов 5–10 мм и неэффективным для стенозов >28 мм.

Наше исследование обладает рядом ограничений. В контексте данного исследования мы не проводили оценку других факторов, влияющих на исход вмешательства. В частности, не была выполнена оценка влияния морфологии поражения. Исследование не описывает критерии объемной степени стеноза, достижение которых приведет к ухудшению прогноза. В настоящем исследовании мы лишь демонстрируем связь указанных параметров с существующей шкалой оценки риска вмешательства. В данном исследовании участвовало всего 27 пациентов, ввиду чего оно не достигло статистической мощности. Представленные результаты требуют дальнейшей оценки в более крупных рандомизированных клинических испытаниях, в том числе определения критериев объемной значимости для принятия решения о реваскуляризации и объемной эффективности восстановления просвета в результате стентирования.

## Заключение

Показатели объемной оценки стенозированного участка артерии, полученные по результатам ОКТ, в частности объемная степень стеноза, имеют превосходство в оценке риска неблагоприятных исходов ЧКВ, обусловленного этими поражениями, по сравнению с существующим стандартными оценками по диаметру или площади.

## Список литературы / References

1. Здравоохранение в России. 2023: стат. сб. / Росстат. М., 2023. 179 с.  
Healthcare in Russia. 2023: Statistical Compilation / Rosstat. Moscow, 2023. 179 p.
2. Алекаян Б.Г., Григорьян А.М., Стаферов А.В., Кавтеладзе З.А., Скрыпник Д.В., Тарасов Р.С. Рентгенэндоваскулярная диагностика и лечение заболеваний сердца и сосудов в Российской Федерации – 2023 год. *Эндоваскулярная хирургия*. 2024;11(Специальный выпуск):S1-S300.  
<https://doi.org/10.24183/2409-4080-2024-11S-S5-S300>  
Alekyan B.G., Grigoryan A.M., Staferov A.V., Kavteladze Z.A., Skrypnik D.V., Tarasov R.S. Endovascular diagnostics and treatment in the Russian Federation (2023). *Russian Journal of Endovascular Surgery*. 2024;11(Special issue):S1-S300.  
<https://doi.org/10.24183/2409-4080-2024-11S-S5-S300>
3. Барбараш О.Л., Карпов Ю.А., Панов А.В., Акчурин Р.С., Алекаян Б.Г., Алевин М.Н., Аронов Д.М., Арутюнян Г.К., Беленков Ю.Н., Бойцов С.А., Болдуева С.А., Бощенко А.А., Бубнова М.Г., Булкина О.С., Васюк Ю.А., Гальявич А.С., Глезер М.Г., Голубев Е.П., Голухова Е.З., Гринштейн Ю.И., Давидович И.М., Ежов М.В., Завадовский К.В., Иртыга О.Б., Карпов Р.С., Кашталап В.В., Козиолова Н.А., Кореннова О.Ю., Космачева Е.Д., Кошельская О.А., Кухарчук В.В., Лопатин Ю.М., Меркулов Е.В., Миронов В.М., Марцевич С.Ю., Миролубова О.А., Михин В.П., Недошивин А.О., Никулина Н.Н., Никулина С.Ю., Олейников В.Э., Панченко Е.П., Перепеч Н.Б., Петрова М.М., Протасов К.В., Саидова М.А., Самко А.Н., Сергиенко И.В., Сеницын В.Е., Скибицкий В.В., Соболева Г.Н., Шалаев С.В., Шапошник И.И., Шевченко А.О., Ширяев А.А., Шляhto Е.В., Чумакова Г.А., Якушин С.С. Стабильная ишемическая болезнь сердца. Клинические рекомендации 2024. *Российский кардиологический журнал*. 2024;29(9):6110.  
<https://doi.org/10.15829/1560-4071-2024-6110>. EDN: ННJJUT  
Barbarash O.L., Karpov Yu.A., Panov A.V., Akchurin R.S., Alekyan B.G., Alekhin M.N., Aronov D.M., Harutyunyan G.K., Belenkov Yu.N., Boytsov S.A., Boldueva S.A., Boschenko A.A., Bubnova M.G., Bulkina O.S., Vasyuk Yu.A., Galyavich A.S., Glezer M.G., Golubev E.P., Golukhova E.Z., Grinstein Yu.I., Davidovich I.M., Yezhov M.V., Zavadovsky K.V., Irtyuga O.B., Karpov R.S., Kozio-

- olova V.V., Koziolova N.A., Korennova O.Yu., Kosmacheva E.D., Koshelskaya O.A., Kukharchuk V.V., Lopatin Yu.M., Merkulov E.V., Mironov V.M., Martsevich S.Yu., Miroljubova O.A., Mikhin V.P., Nedoshivin A.O., Nikulina N.N., Nikulina S.Yu., Oleinikov V.E., Panchenko E.P., Perepech N.B., Petrova M.M., Protasov K.V., Saidova M.A., Samko A.N., Sergienko I.V., Siniitsyn V.E., Skibitsky V.V., Soboleva G.N., Shalaev S.V., Shaposhnik I.I., Shevchenko A.O., Shiryaev A.A., Shlyakhto E.V., Chumakova G.A., Yakushin S.S. 2024 Clinical practice guidelines for Stable coronary artery disease. *Russian Journal of Cardiology*. 2024;29(9):6110. (In Russ.) <https://doi.org/10.15829/1560-4071-2024-6110>. EDN: HHJJUT
4. Patel K.K., Peri-Okonny P.A., Giorgetti A., Shaw L.J., Gimelli A. Value of Ischemia and Coronary Anatomy in Prognosis and Guiding Revascularization Among Patients With Stable Ischemic Heart Disease. *Circ Cardiovasc Imaging*. 2024 Sep;17(9):e016587. PMID: 39247957; PMCID: PMC11439561. <https://doi.org/10.1161/CIRCIMAGING.123.016587>
  5. Valgimigli M., Serruys P.W., Tsuchida K., Vaina S., Morel M.A., van den Brand M.J., Colombo A., Morice M.C., Dawkins K., de Bruyne B., Kornowski R., de Servi S., Guagliumi G., Jukema J.W., Mohr F.W., Kappetein A.P., Wittebols K., Stoll H.P., Boersma E., Parinello G.; ARTS II. Cyphering the complexity of coronary artery disease using the syntax score to predict clinical outcome in patients with three-vessel lumen obstruction undergoing percutaneous coronary intervention. *Am J Cardiol*. 2007;99(8):1072-81. PMID: 17437730. <https://doi.org/10.1016/j.amjcard.2006.11.062>
  6. Franzone A., Taniwaki M., Rigamonti F., Heg D., Piccolo R., Roffi M., Tüller D., Muller O., Vuillomenet A., Cook S., Weilenmann D., Kaiser C., Jamshidi P., Jüni P., Windecker S., Pilgrim T. Angiographic complexity of coronary artery disease according to SYNTAX score and clinical outcomes after revascularisation with newer-generation drug-eluting stents: a substudy of the BIOSCIENCE trial. *EuroIntervention*. 2016;12(5):e595-604. PMID: 27497359. <https://doi.org/10.4244/EIJV12I5A99>
  7. Park K.W., Kang J., Kang S.H., Ahn H.S., Lee H.Y., Kang H.J., Koo B.K., Chae I.H., Youn T.J., Oh B.H., Park Y.B., Kandzari D.E., Kim H.S. Usefulness of the SYNTAX and clinical SYNTAX scores in predicting clinical outcome after unrestricted use of sirolimus- and everolimus-eluting Stents. *Circ J*. 2013;77(12):2912-21. PMID: 24048031. <https://doi.org/10.1253/circj.cj-13-0645>
  8. Bundhun P.K., Sookharee Y., Bholee A., Huang F. Application of the SYNTAX score in interventional cardiology: A systematic review and meta-analysis. *Medicine (Baltimore)*. 2017;96(28):e7410. PMID: 28700477; PMCID: PMC5515749. <https://doi.org/10.1097/MD.00000000000007410>
  9. Данилович А.И., Тарасов Р.С. Факторы неблагоприятного прогноза для ревааскуляризации миокарда и мозга при помощи чрескожных вмешательств и каротидной эндартерэктомии в гибридных поэтапном режимах. *Сибирский журнал клинической и экспериментальной медицины*. 2022;37(2):41-48. <https://doi.org/10.29001/2073-8552-2022-37-2-41-48>
  10. Сулов И.В., Пекарский С.Е., Баев А.Е., Тарасов М.Г., Гергерт Е.С., Громовой Р.М., Богданов Ю.И., Султанов С.М., Гороховский А.А., Ивашков Д.О. Оптическая когерентная томография при сложных чрескожных коронарных вмешательствах: влияние асимметрии просвета артерии на раскрытие стента. *Комплексные проблемы сердечно-сосудистых заболеваний*. 2024;13(3):37-46. <https://doi.org/10.17802/2306-1278-2024-13-3-37-46>
  11. Danilovich A.I., Tarasov R.S. Factors of unfavorable prognosis for myocardial and coronary revascularization using hybrid and step-by-step percutaneous interventions and carotid endarterectomy. *Siberian Journal of Clinical and Experimental Medicine*. 2022;37(2):41-48. (In Russ.) <https://doi.org/10.29001/2073-8552-2022-37-2-41-48>
  12. Suslov I.V., Pekarskiy S.E., Baev A.E., Tarasov M.G., Gergert E.S., Gromovoy R.M., Bogdanov Yu.I., Sultanov S.M., Gorokhovskiy A.A., Ivashkin D.O. Pitfalls in using intravascular imaging during PCI: sizing the stent according to mean arterial lumen diameter may result in stent underexpansion. *Complex Issues of Cardiovascular Diseases*. 2024;13(3):37-46. (In Russ.) <https://doi.org/10.17802/2306-1278-2024-13-3-37-46>
  13. Roleder T., Dobrolinska M., Pociask E., Wanha W., Smolka G., Walkowicz W., Parma R., Lebek M., Bochenek T., Pietraszewski P., Kedhi E., Ochala A., Gasior Z., Ali Z.A., Wojakowski W. Coronary plaque redistribution after stent implantation is determined by lipid composition: A NIRS-IVUS analysis. *Cardiol J*. 2020;27(3):238-245. PMID: 30246238; PMCID: PMC8015974. <https://doi.org/10.5603/CJ.a2018.0111>
  14. Roleder T., Kovacic J.C., Ali Z., Sharma R., Cristea E., Moreno P., Sharma S.K., Narula J., Kini A.S. Combined NIRS and IVUS imaging detects vulnerable plaque using a single catheter system: a head-to-head comparison with OCT. *EuroIntervention*. 2014;10(3):303-11. PMID: 24769522. <https://doi.org/10.4244/EIJV10I3A53>
  15. Biały D., Wawrzyńska M., Arkowski J., Rogala M., Proniewska K., Wańha W., Wojakowski W., Roleder T. Multimodality imaging of intermediate lesions: Data from fractional flow reserve, optical coherence tomography, near-infrared spectroscopy-intravascular ultrasound. *Cardiol J*. 2018;25(2):196-202. PMID: 28714527. <https://doi.org/10.5603/CJ.a2017.0082>
  16. Porto I., Di Vito L., Burzotta F., Niccoli G., Trani C., Leone A.M., Biasucci L.M., Vergallo R., Limbruno U., Crea F. Predictors of periprocedural (type IVa) myocardial infarction, as assessed by frequency-domain optical coherence tomography. *Circ Cardiovasc Interv*. 2012;5(1):89-96. PMID: 22298799. <https://doi.org/10.1161/CIRCINTERVENTIONS.111.965624>
  17. Liu Y., Shimamura K., Kubo T., Tanaka A., Kitabata H., Ino Y., Tanimoto T., Shiono Y., Orii M., Yamano T., Yamaguchi T., Hirata K., Imanishi T., Akasaka T. Comparison of longitudinal geometric measurement in human coronary arteries between frequency-domain optical coherence tomography and intravascular ultrasound. *Int J Cardiovasc Imaging*. 2014;30(2):271-7. PMID: 24272334. <https://doi.org/10.1007/s10554-013-0330-7>