

УДК 616.132.2-007.271-072.1-089.472.5.032.13-073.756

DOI 10.17802/2306-1278-2024-13-3-37-46

## ОПТИЧЕСКАЯ КОГЕРЕНТНАЯ ТОМОГРАФИЯ ПРИ СЛОЖНЫХ ЧРЕСКОЖНЫХ КОРОНАРНЫХ ВМЕШАТЕЛЬСТВАХ: ВЛИЯНИЕ АСИММЕТРИИ ПРОСВЕТА АРТЕРИИ НА РАСКРЫТИЕ СТЕНТА

И.В. Суслов, С.Е. Пекарский, А.Е. Баев, М.Г. Тарасов, Е.С. Гергерт, Р.М. Громовой,  
Ю.И. Богданов, С.М. Султанов, А.А. Гороховский, Д.О. Ивашков

Научно-исследовательский институт кардиологии – филиал Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Томский национальный исследовательский медицинский центр Российской академии наук», ул. Киевская, 111А, Томск, Российская Федерация, 634012

### Основные положения

• Современные алгоритмы применения оптической когерентной томографии при чрескожных коронарных вмешательствах просты в освоении и понятны в применении, но являются в значительной части декларативными, не проверенными на практике. В частности, средний диаметр референсного просвета занижает оценку оптимального диаметра стента пропорционально степени стенозирования, то есть разнице между минимальным и максимальным диаметрами (асимметрии) просвета, а выбор диаметра стента по среднему диаметру просвета ведет к недораскрытию стента.

<b>Цель</b>	Проверить гипотезу о том, что выбор размеров стента по среднему диаметру референсного просвета может быть причиной недораскрытия стента.
<b>Материалы и методы</b>	В проспективное когортное исследование включены пациенты с хронической ишемической болезнью сердца и сложной анатомией поражений, которым чрескожное коронарное вмешательство было выполнено под контролем оптической когерентной томографии (ОКТ). По результатам ОКТ определены дистальный и по возможности проксимальный референсные сегменты, в которых измерялись минимальный, максимальный диаметры, а также рассчитывался средний диаметр просвета, по которому выбирался размер стента. По результатам повторной ОКТ после имплантации стента оценена степень раскрытия стента. Предполагаемая связь между степенью раскрытия имплантированного стента и исходной асимметрией просвета, определяемой как относительная разность максимального и минимального диаметров, изучена методом корреляционного анализа. Линейная регрессия использована для определения порогового значения асимметрии, соответствующего клинически релевантному раскрытию стента $\geq 80\%$ .
<b>Результаты</b>	В исследование включены 24 пациента, из них 3 были исключены ввиду невозможности выполнить исходную ОКТ до преддилатации поражения. В среднем максимальный диаметр дистального референсного просвета сосуда с видимой частью наружной эластической мембраны по ОКТ составил $2,87 \pm 0,66$ мм, минимальный – $1,85 \pm 0,44$ мм. Среднее отношение минимального и максимального диаметров – $0,35 \pm 0,09$ . Средний диаметр составил $2,30 \pm 0,51$ мм, средняя разница между максимальным и средним диаметрами – $0,61 \pm 0,28$ мм. Критерий раскрытия стента $\geq 80\%$ достигнут в 6 (28,6%) случаях. По результатам корреляционного анализа выявлена статистически значимая обратная пропорциональная зависимость относительной степени раскрытия стента от исходной разности максимального и минимального диаметров, при этом клинически релевантное раскрытие стента $\geq 80\%$ наблюдалось при относительной разности диаметров $\leq 30\%$ ( $r = -0,41$ , $p = 0,032$ ).
<b>Заключение</b>	При выраженной асимметрии просвета референсного сегмента артерии использование среднего диаметра стента ассоциировано с недораскрытием стента.
<b>Ключевые слова</b>	Ишемическая болезнь сердца • Сложное чрескожное коронарное вмешательство • Оптическая когерентная томография • Степень раскрытия стента • Асимметрия просвета артерии

Поступила в редакцию: 13.05.2024; поступила после доработки: 08.06.2024; принята к печати: 27.08.2024

Для корреспонденции: Иван Владимирович Суслов, [straiker.acer@gmail.com](mailto:straiker.acer@gmail.com); адрес: ул. Киевская, 111А, Томск, Российская Федерация, 634012

Corresponding author: Ivan V. Suslov, [straiker.acer@gmail.com](mailto:straiker.acer@gmail.com); address: 111A, Kievskaya St., Tomsk, Russian Federation, 634012

## PITFALLS IN USING INTRAVASCULAR IMAGING DURING PCI: SIZING THE STENT ACCORDING TO MEAN ARTERIAL LUMEN DIAMETER MAY RESULT IN STENT UNDEREXPANSION

I.V. Suslov, S.E. Pekarsky, A.E. Baev, M.G. Tarasov, E.S. Hergert, R.M. Gromovoy, S.M. Sultanov, A.A. Gorokhovskiy, D.O. Ivashkov

Cardiology Research Institute, Tomsk National Research Medical Center, Russian Academy of Sciences, 111A, Kievskaya St., Tomsk, Russian Federation, 634012

### Highlights

- Contemporary algorithms for optical coherence tomography (OCT)-guided percutaneous coronary intervention (PCI) are easy to learn and understand, however, these algorithms are mostly declarative, and not substantiated in practice. In particular, using the mean reference lumen diameter may result in underestimation of the optimal stent size in relation to the degree of stenosis, i.e., the difference between the minimum and maximum diameters (lumen asymmetry), whereas choosing a stent based on the mean lumen diameter leads to stent underexpansion.

**Aim** To assess whether choosing a stent size based on the mean lumen diameter of the reference segment of the artery may result in its underexpansion.

**Methods** The prospective cohort study included patients with chronic coronary artery disease and complex lesion anatomy who underwent high-risk OCT-guided PCI. Based on the OCT results, the distal and proximal reference segments were determined, in which the minimum and maximum diameters were measured, followed by calculating the mean lumen diameter, which was further used for stent selection. Based on the results of repeated OCT after stent implantation, the degree of stent expansion was assessed. The expected relationship between the degree of stent expansion and the baseline lumen asymmetry was assessed by correlation analysis. Linear regression was used to determine the asymmetry threshold corresponding to clinically relevant stent expansion of 80%.

**Results** Overall, 24 patients were enrolled, 3 of them were excluded because of inability to perform OCT without lesion predilatation. On average, the maximum and minimum diameters of the distal reference lumen of the vessel with partially visible external elastic lamina according to OCT were  $2.87 \pm 0.66$  mm and  $1.85 \pm 0.44$  mm, respectively. The ratio between minimum and maximum diameter was  $0.35 \pm 0.09$ . The mean diameter was  $2.30 \pm 0.51$  mm, the difference between the maximum and mean diameters was  $0.61 \pm 0.28$  mm. The criterion of stent expansion  $\geq 80\%$  was achieved in 6 cases (28.6%). The correlation analysis has shown a statistically significant inversely proportional dependence of the relative stent expansion on the baseline lumen asymmetry (the difference between the maximum and minimum diameters ( $r = -0.41$ ,  $p = 0.032$ ), while clinically relevant stent expansion  $\geq 80\%$  was observed with a relative difference in diameters of less than 30%.

**Conclusion** In case of significant lumen asymmetry choosing a stent diameter based on the mean lumen diameter is associated with stent underexpansion.

**Keywords** Coronary artery disease • High-risk percutaneous coronary intervention • Optical coherence tomography • Stent expansion • Coronary lumen asymmetry

Received: 13.05.2024; received in revised form: 08.06.2024; accepted: 27.08.2024

### Список сокращений

BCB – внутрисосудистая визуализация  
ОКТ – оптическая когерентная томография

ЧКВ – чрескожное коронарное вмешательство

### Введение

Ишемическая болезнь сердца остается главной причиной смерти взрослого населения РФ. Патогенетическим методом ее лечения является реваскуляризация миокарда: хирургическая или эндоваскулярная. Последняя, обладая уникальным

сочетанием хирургической радикальности и малой травматичности, стала ведущим способом лечения данной патологии сердечно-сосудистой системы: сегодня в РФ количество выполняемых операций чрескожного коронарного вмешательства (ЧКВ) примерно в 6 раз превосходит количество опера-

ций коронарного шунтирования [1]. Тем не менее ЧКВ показали сравнительно меньшую отдаленную эффективность в сравнении с коронарным шунтированием и, следовательно, требуют совершенствования как технического (новые стенты, новые методы внутрисосудистой физиологии/визуализации и т. д.), так и методологического (например, применение новых алгоритмов стентирования на основе полученных по внутрисосудистой визуализации данных). Учитывая количество выполняемых ЧКВ, любое повышение эффективности данного метода способно обеспечить значительное снижение сердечной и общей смертности. Одним из наиболее перспективных направлений повышения эффективности ЧКВ сегодня является использование внутрисосудистой визуализации (ВСВ).

Применение ВСВ на этапе диагностики позволяет оптимизировать тактику вмешательства примерно в 86% случаев вследствие уточнения морфологии и геометрии стенозов, референсных диаметров и зон посадки стентов [2]. В связи с появлением и распространением технологий ВСВ возник вопрос: в каких ситуациях и каким образом их нужно применять и как интерпретировать полученную информацию? Большой массив гетерогенных данных о значении тех или иных морфологических «феноменов» и измеряемых геометрических параметров требуется структурировать в единый алгоритм, который позволил бы рентгеноэндоваскулярному хирургу быстро и эффективно использовать информацию, получаемую с помощью ВСВ. В настоящее время для оптической когерентной томографии (ОКТ) практически единственной попыткой в этом отношении является алгоритм MLD-MAX [3]. Часть MLD (M – morphology, L – length, D – diameter) представляет собой оценку анатомии и морфологии поражения для оптимизации имплантации стента – определение посадочных зон и размеров стента. Часть MAX (M – Medialdissection, A – Apposition, X – eXpansion): оценка дефектов стентирования и определение стратегии их оптимизации. Однако, несмотря на кажущуюся утилитарность, часть его аспектов пока в значительной степени декларативна и требует уточнения и доработки. В частности, нет указаний, как выбрать зону проксимальной посадки в отсутствие интактного сегмента, не выглядит обоснованным определение проксимального референсного диаметра по просвету в той же ситуации, а также использование среднего диаметра при выраженной асимметрии просвета. Последнее представляется особенно важным, поскольку эксцентричный рост бляшки в просвет сосуда уменьшает его диаметр в направлении, перпендикулярном этому росту, так что минимальный диаметр отражает эффект стенозирования, а максимальный – исходный интактный размер. Соответственно, средние значения занижают оценку

референсного диаметра пропорционально степени стенозирования, т. е. разнице между минимальным и максимальным диаметрами. Как результат, выбор диаметра стента по среднему значению максимального и минимального диаметров просвета потенциально ведет к недораскрытию стента.

**Цель данного исследования** – проверить вышеописанную гипотезу о том, что недостаточная степень раскрытия стента может быть обусловлена выбором его размеров по среднему диаметру просвета референсного сегмента артерии.

## Материалы и методы

Данное исследование является частью выполняемого в НИИ кардиологии ТНИМЦ проспективного, рандомизированного, контролируемого исследования эффективности и безопасности ОКТ-ассистированной коррекции дефектов имплантации стентов, одобренного Комитетом по биомедицинской этике НИИ кардиологии ТНИМЦ (протокол № 232 от 26 октября 2022 г.). Все пациенты, включенные в данное исследование, дали информированное согласие на участие.

В настоящее исследование включали пациентов с хронической ишемической болезнью сердца и высоким риском ЧКВ вследствие анатомической сложности поражений коронарных артерий, которым, согласно внутреннему протоколу НИИ кардиологии ТНИМЦ, вмешательства выполняли под контролем ОКТ. Критериями включения были возраст старше 18 лет, показания к реваскуляризации и техническая возможность выполнить ЧКВ, хотя бы один из критериев высокого риска ЧКВ (стволовое поражение, длинное поражение > 28 мм, бифуркационное поражение, кальцинированное поражение по данным коронарной ангиографии), согласие пациента на участие в исследовании. Критерии исключения: наличие противопоказаний к проведению ЧКВ и/или ОКТ, показания к реваскуляризации, но было принято совместное решение о преимуществе коронарного шунтирования, тяжелые сопутствующие заболевания или состояния, которые существенно увеличивают риск вмешательства, отзыв пациентом согласия на участие в исследовании. Дополнительным критерием исключения была невозможность выполнить исходное ОКТ без предилатации.

Процедура ЧКВ проведена в рентгеноперационной, оснащенной ангиографической системой Azurion 7 (Philips, Нидерланды). Доступ осуществлен через правую лучевую артерию с использованием проводниковых катетеров 6 Fr. ОКТ выполнена 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 проведены инъекция контраста в просвет

сосуда с целью создания оптического окна для ОКТ и сканирование сегмента длиной 54 мм со стандартной скоростью 20 мм/сек. При большей длине зоны интереса сканирование выполнялось в два приема. После формирования изображения ОКТ определены оптимальные дистальный и проксимальный (при наличии) референсные сегменты (зоны посадки стента). Затем диаметры референсных сегментов и расстояние между ними были использованы для определения оптимальных размеров стента. Определяли дистальный референсный сегмент как ближайший участок артерии с визуализацией наружной эластической мембраны более чем на 180° по окружности либо как прилежащий сегмент с наибольшим просветом, избегая атером с тонкой крышкой, жировых ядер и эксцентричного кальция в соответствии с оригинальным алгоритмом MLD MAX. Выбирали проксимальные референсные сегменты как прилежащие сегменты с наибольшим просветом, избегая атером с тонкой крышкой, жировых ядер и эксцентричного кальция. Поскольку в исследование включали пациентов со сложной анатомией поражений, проксимальные референсные сегменты с интактной стенкой более 180° по окружности практически отсутствовали. В части случаев проксимальные референсные сегменты отсутствовали полностью, и стентирование выполняли «от устья» или с пересечением боковой ветви (по выбору оператора), дистальные имели значительный объем поражения по окружности поражения и, как следствие, асимметрию просвета. Мы использовали дистальный референсный сегмент для оценки асимметрии просвета, обусловленной эксцентрическим ростом бляшки, поскольку на этих сегментах частично присутствовала наружная эластическая мембрана и можно было видеть, что асимметрия диаметров вызвана именно вышеуказанным феноменом. Первым этапом размер стента выбирали по диаметру дистального референсного сегмента, который в свою очередь определяли по просвету сосуда с использованием встроенного автоматического расчета минимального, максимального и среднего диаметров по мануально построенному контуру изображения просвета. Диаметр стента определяли путем округления полученного среднего значения диаметра вверх до ближайшего кратного 0,25–0,5 мм. Проксимальный референсный участок устанавливали условно, если имелось расширение просвета артерии проксимальнее стеноза с диаметром, приблизительно соответствующим ожидаемому интактному диаметру. При наличии интактного проксимального референсного сегмента или выраженном различии (> 1 мм) между диаметрами дистального и условного (ближайшего с наибольшим просветом пораженного участка) проксимального референсов диаметр стентов выбирали как среднее значение проксимального

и дистального референсных диаметров. Длиной стента считали расстояние от дистального до проксимального референсного сегмента или до устья артерии или ближайшего участка материнского сосуда (при пересечении бифуркации) в зависимости от выбранной стратегии стентирования.

Пациентам имплантировали стенты с лекарственным покрытием 2-го поколения. В качестве медикаментозной терапии все получали двойную антитромбоцитарную терапию, в соответствии с действующими клиническими рекомендациями. После ЧКВ двойная антитромбоцитарная терапия была рекомендована всем пациентам. Во время ЧКВ все больные получали антикоагулянтную терапию нефракционированным гепарином под контролем активированного времени свертывания в диапазоне 250–300 сек.

Первичной конечной точкой была относительная степень раскрытия стента по площади – степень раскрытия стента относительно площади дистального референсного сегмента, при наличии проксимального – относительно средней площади референсных сегментов.

**Статистический анализ.** Непрерывные переменные представлены как средние значения (стандартное отклонение), категориальные – как n (%). Связь между средним диаметром просвета до стентирования и степенью раскрытия имплантированного стента оценивали с помощью корреляционного анализа Пирсона, исходя из визуальной линейной связи между переменными на XY-диаграмме. Значимость корреляций анализировали с использованием t-критерия Стьюдента. Значение  $p < 0,05$  было принято как уровень статистической значимости. Весь анализ проведен при помощи пакета программ STATISTICA 10 (StatSoft, Inc., США).

## Результаты

Всего в исследование включены 24 пациента, из них 3 исключены ввиду невозможности выполнить ОКТ до предилатации поражения (рис. 1). Исходные и процедурные характеристики представлены

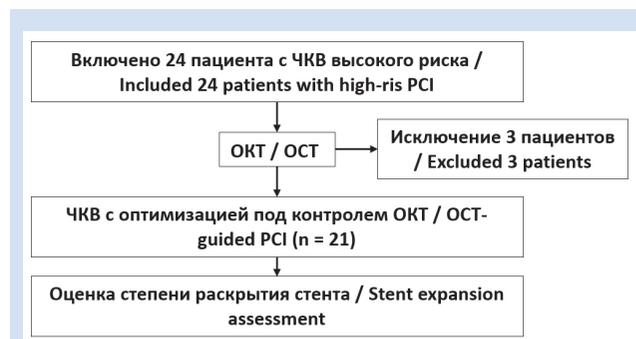


Рисунок 1. Блок-схема исследования

**Примечание:** ОКТ – оптическая когерентная томография; ЧКВ – чрескожное коронарное вмешательство.

**Figure 1.** Flowchart of the study

**Note:** OCT – optical coherence tomography; PCI – percutaneous coronary intervention.

в табл. 1 и 2 соответственно. Средний возраст пациентов составил  $67,4 \pm 8,4$  года, соотношение мужчин и женщин было примерно одинаковым (количество женщин 11 – 45,8%). В исследовании также выявлена высокая доля пациентов с сахарным диабетом (11 пациентов – 45,8%), при этом неконтролируемым он был лишь у половины.

Суммарно вмешательство выполнено на 45 сосудистых сегментах. В табл. 2 представлено распределение по частоте реваскуляризации того или иного сегмента. Наибольшая частота определена для проксимального сегмента передней нисходящей артерии (49% общего числа сегментов). В общей сложности у 95,8% пациентов выявлено поражение проксимального сегмента передней нисходящей артерии. Поражение ствола выявлено у 1 (4,2%) пациента, длинное поражение (более 28 мм) – у 19 (79,8%), бифуркационное поражение – у 20 (83,3%), из них истинное (Medina 1,0,1, 0,1,1, 1,1,1 согласно 16-му экспертному консенсусному документу Европейского бифуркационного клуба [6]) – у 8 (42,1% общего числа бифуркационных поражений). Кальцинированное поражение (Са-индекс 4 по критериям Fujino et al.) установлено у 10 (41,7%) пациентов.

У трех пациентов не удалось выполнить диагностическую ОКТ из-за высокой степени стенозирования, визуализация была проведена после преддилатации и, соответственно, деформации исходного просвета. Таким образом, взаимосвязь среднего диаметра просвета и степени недораскрытия стента изучена у 21 пациента. В среднем максимальный диаметр дистального референсного про-

**Таблица 1.** Исходная характеристика пациентов (n = 24)  
**Table 1.** Baseline characteristics of patients (n = 24)

Возраст, лет / Age, y	67,4 ± 8,4
Женский пол / Female, n (%)	11 (45,8)
История болезни / Anamnesis morbi, n (%)	
ПИКС / PICS	6 (25)
ФП / AF	4 (16,7)
СД / DM	11 (45,8)
История жизни / Anamnesis vita	
ИМТ / BMI	31,27 ± 5,36
Курение / Smoking, n (%)	2 (8,3)
Гликированный гемоглобин ≥ 7,5% / Glycated hemoglobin ≥ 7,5%, n (%)	6 (25)
СКФ / GFR	71,4 ± 15,1
ФВ ЛЖ / LV EF, %	67,2 ± 6,87
Показания для реваскуляризации / Indications to revascularization	
Стресс-ЭхоКГ / Stress-Echo, n (%)	6 (25)
Сцинтиграфия миокарда / Myocardial scintigraphy, n (%)	11 (45,8)
МРК / iFR, n	6 (25)
ФРК / FFR, n	1 (4)
Клинически / Clinical, n (%)	3 (12,5)

**Примечание:** ИМТ – индекс массы тела; МРК – моментальный резерв кровотока; ПИКС – постинфарктный кардиосклероз; СД – сахарный диабет; СКФ – скорость клубочковой фильтрации; ФВ ЛЖ – фракция выброса ЛЖ; ФП – фибрилляция предсердий; ФРК – фракционный резерв кровотока.

**Note:** AF – atrial fibrillation; BMI – body mass index; DM – diabetes mellitus; FFR – fractional flow reserve; GFR – glomerular filtration rate; iFR – instantaneous wave-free ratio; LV EF – left ventricle ejection fraction; PICS – postinfarction cardiosclerosis.

**Таблица 2.** Характеристика чрескожного коронарного вмешательства  
**Table 2.** Percutaneous coronary intervention characteristics

Длительность процедуры, мин / Procedure duration, min	108,6 ± 47
Лучевая нагрузка, мЗв / Radiation exposure, mSv	6,9 ± 3,9
Объем вводимого контрастного вещества, мл / Contrast volume, mL	264,8 ± 91,3
Пораженный сегмент / Target lesion, n (%)	
ЛКА / LM	1 (2)
Пр/3 ПНА / Proximal LAD	23 (49)
Ср/3 ПНА / mid LAD	13 (28)
Д/3 ПНА / distal LAD	3 (6)
ДА / DA	3 (6)
ОА/ВТК / LCx/OM	2 (4)
ПКА / RCA	2 (4)
Кол-во реваскуляризованных поражений / Number of stented lesions, n	
1 поражение / 1 lesion	7 (29)
2 поражения / 2 lesion	14 (58)
3 поражения / 3 lesion	3 (13)
Кол-во реваскуляризованных сосудов / Number of stented vessels, n (%)	
1 поражение / 1 vessel	22 (91,7)
2 поражения / 2 vessel	1 (4,2)
3 поражения / 3 vessel	1 (4,2)
Сосудов с протяженным поражением (длина стента ≥ 28 мм) / Vessels with long lesion, n (%)	19 (79,2)
Бифуркационное поражение / Bifurcation lesion, n (%)	20 (83,3)
Бифуркационное поражение по Medina / Medina bifurcation lesions, n (%)	
0.0.1	1 (5,3)
0.1.1	2 (10,5)
1.1.0	9 (47,7)
1.1.1	6 (31,6)
Сосуды с кальцинированным поражением / Vessels with calcified lesions, n (%)	10 (41,7)

**Примечание:** ВТК – ветвь тупого края; ДА – диагональная артерия; ЛКА – ствол левой коронарной артерии; ОА – огибающая артерия; ПКА – правая коронарная артерия; ПНА – передняя нисходящая артерия.

**Note:** DA – diagonal artery; LAD – left anterior descending artery; LCx – left circumflex artery; LM – left main; OM – obtuse margin; RCA – right coronary artery.

света составил  $2,87 \pm 0,66$  мм, минимальный –  $1,85 \pm 0,44$  мм. Абсолютная разница составила  $1,06 \pm 0,45$  мм, а отношение минимального и максимального диаметров –  $0,35 \pm 0,09$ . Средний диаметр просвета по данным ОКТ зарегистрирован на уровне  $2,30 \pm 0,51$  мм, при этом разница между максимальным и средним диаметрами составила  $0,61 \pm 0,28$ . Стент выбирался на основании среднего значения проксимального и дистального референсных сегментов, значение которого составило  $3,01 \pm 0,49$  мм.

Степень раскрытия стента после оптимизации в среднем составила  $73,23 \pm 17,66\%$ . Критерий в 80% раскрытия достигнут в 6 (28,6%) случаях.

По результатам корреляционного анализа выявлена статистически значимая обратная линейная связь между относительной разностью диаметров и относительной степенью раскрытия стента по площади ( $r = -0,41$ ,  $p = 0,032$ ) (рис. 2). Согласно полученной зависимости, степень раскрытия 80% и более наблюдалась при относительной разности диаметров менее 30%.

### Обсуждение

Распространенность и тяжесть коронарных поражений быстро нарастает по мере старения населения и увеличения коморбидности, в первую очередь сахарного диабета. При этом вследствие тех же факторов увеличивается риск хирургической

реваскуляризации, поскольку пожилые пациенты с многочисленными сопутствующими заболеваниями плохо переносят искусственную вентиляцию легких, обширную хирургическую травму грудной клетки, кровопотерю, а также иммобилизацию и ограничение движения в послеоперационном периоде. В результате у больных, направляемых на ЧКВ, растет доля сложных и диффузных поражений коронарных артерий, при которых традиционные преимущества методов ВСВ в определении

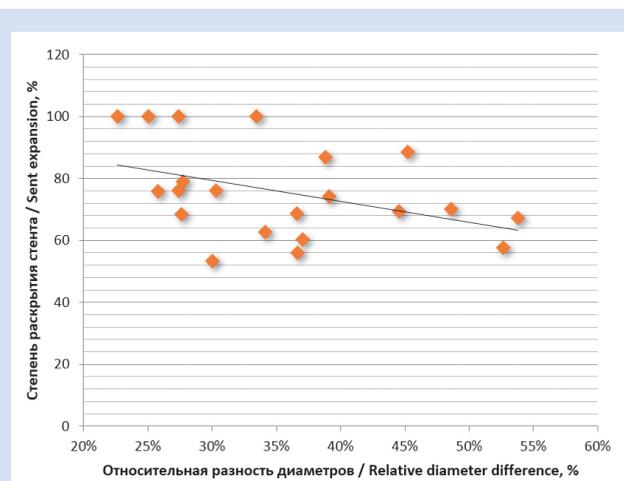


Рисунок 2. Зависимость степени раскрытия по площади от отношения разности диаметров

Figure 2. Dependence of the degree of stent expansion on the relative diameter difference

Таблица 3. Количественный анализ срезов ОКТ (n = 21)

Table 3. Quantitative assessment of OCT (n = 21)

Максимальный диаметр по ОКТ, мм / Maximum diameter according to OCT, mm	$2,87 \pm 0,66$
Минимальный диаметр по ОКТ, мм / Minimum diameter according to OCT, mm	$1,85 \pm 0,44$
Средний диаметр по ОКТ, мм / Mean diameter of the OCT, mm	$2,30 \pm 0,51$
Различие среднего и максимального диаметров, мм / The difference between the mean and maximum diameters, mm	$0,61 \pm 0,28$
Абсолютное различие минимального и максимального диаметров, мм / The absolute difference between the minimum and maximum diameters, mm	$1,06 \pm 0,45$
Относительное различие минимального и максимального диаметров, мм / The relative difference between the minimum and maximum diameters, mm	$0,35 \pm 0,09$
Степень раскрытия по ОКТ / Stent expansion, %	$73,23 \pm 17,66$
Морфология поражения / Lesion morphology, n (%)	
атерома / atheroma	1 (4,8)
фиброз / fibrosis	12 (57,1)
кальциноз (выраженный) / calcim (severe)	8 (38,1)
Дистальный референсный диаметр, мм / Distal reference diameter, mm	$2,53 \pm 0,51$
Средний референсный диаметр, мм / Mean reference diameter, mm	$3,01 \pm 0,49$
Средний диаметр стента, мм / Mean stent diameter, mm	$3,31 \pm 0,44$
Минимальная площадь просвета, мм <sup>2</sup> / Minimal stent area, mm <sup>2</sup>	$5,56 \pm 2,04$
Интраоперационные осложнения / Intraoperative complications, n (%)	
• диссекция / dissection	5 (24)
• перфорация / perforation	1 (5)
• протрузия / protrusion	3 (14)
• недораскрытие / underexpansion	15 (71)
• мальпозиция / malposition	5 (24)

Примечание: ОКТ – оптическая когерентная томография.

Note: OCT – optical coherence tomography.

оптимального размера стента ограничены отсутствием интактных референсных сегментов и, как следствие, невозможна визуализация наружной эластической мембраны на большей части окружности просвета артерии. В результате все чаще приходится выбирать размер стентов по диаметру просвета референсных участков. Так, например, такой подход выбран в исследованиях ILUMIEN III и OPINION, что, очевидно, отражает серьезные сомнения исследователей в возможности определять диаметр референсного сегмента по наружной эластической мембране [4, 5].

Практическое применение ВСВ при ЧКВ предполагает выполнение рациональной законченной последовательности действий, включающих определение геометрии и морфологии поражения, оценку оптимальных размеров стента, технического результата стентирования и эффективности оптимизации/коррекции дефектов стентирования. Непосредственные методики выполнения каждого из этих действий должны опираться на соответствующие клинические исследования, подтверждающие их эффективность. Однако тестирование конкретных методик в клинических исследованиях представляет собой дорогостоящий и длительный процесс, вследствие чего таких данных сегодня немного. Авторы большей части выполненных до настоящего времени исследований имели цель доказать в целом преимущество использования ВСВ без учета того, как именно она используется, конкретных методов/приемов анализа изображений и основанных на них оценок, критериев выбора тех или иных инструментов, тактики, параметров стентирования/оптимизации результатов. Предлагаемые сегодня алгоритмы применения ВСВ решают данную проблему путем компиляции приемов, опирающихся на клинические исследования (в основном наблюдательные) и основанных только на предположениях/ожиданиях без какой-либо практической верификации. Такой подход позволяет широко применять ВСВ при ЧКВ в условиях современного дефицита данных клинических исследований в отношении конкретных методик/приемов использования информации, получаемой с помощью ВСВ. Также он несет риск ошибок, в т. ч. существенных, способных ухудшить результаты ЧКВ.

В частности, не представляются обоснованными выбор зоны проксимальной посадки в отсутствие интактного сегмента (невозможности визуализации наружной эластической мембраны), определение проксимального референсного диаметра по просвету в той же ситуации, а также использование среднего диаметра при выраженной асимметрии просвета. Очевидно, что эксцентричный рост бляшки в просвет сосуда специфически меняет его форму, уменьшая диаметр в направлении, перпендикулярном этому росту, в то время как диаметр в

ортогональном направлении практически не меняется до тех пор, пока бляшка занимает менее 50% окружности. В такой ситуации минимальный диаметр отражает результат стенозирования, максимальный – исходный интактный размер, а разность этих диаметров – степень стенозирования. Соответственно, средние значения занижают оценку референсного диаметра и оптимального размера стента пропорционально степени стенозирования. Как результат, выбор диаметра стента по среднему значению максимального и минимального диаметров просвета потенциально ведет к его недораскрытию.

Использование среднего значения при оценке диаметра просвета сосуда основано на математическом свойстве среднего – уменьшать случайную ошибку такой оценки, в данном случае вследствие несистематических отклонений просвета от окружности. Однако в сосудах, пораженных атеросклерозом, отклонение просвета от окружности не является случайным. Оно развивается как специфическое следствие атеросклеротического поражения и характеризует его выраженность. В такой ситуации использование среднего значения увеличивает ошибку оценки референсного диаметра просвета, обусловленную систематической закономерной деформацией этого просвета и специфическим отклонением его формы от окружности в сторону занижения. Величина такого ошибочного занижения предполагаемого оптимального размера стента в соответствии со спецификой эксцентричного атеросклероза пропорциональна разности максимального и минимального диаметров. Таким образом, при исходной асимметрии референсного просвета выбор размера стента по среднему диаметру этого просвета должен приводить к недораскрытию стента пропорционально степени асимметрии, т. е. должна наблюдаться обратно пропорциональная зависимость между асимметрией просвета и степенью раскрытия стента. Именно такая корреляция выявлена в нашем исследовании, что подтверждает вышеуказанное предположение о том, что выбор оптимального размера стента по среднему диаметру просвета может привести к недораскрытию стента. При этом клинически релевантная степень недораскрытия стента < 80% наблюдалась при относительной разности диаметров более 30%.

Полученные результаты предполагают оптимизацию соответствующего аспекта в алгоритме применения ОКТ при ЧКВ. В частности, при асимметрии просвета 30% и выше целесообразно подбирать оптимальный размер стента по максимальному диаметру референсного просвета.

Ограничением данного исследования является небольшой объем выборки, составляющий всего 24 человека, из которых 3 были в последующем ис-

ключены. Таким образом, выявленная зависимость нуждается в верификации с помощью исследований с большим количеством пациентов, а рекомендуемая оптимизация – в верификации в рандомизированных контролируемых исследованиях.

### Заключение

Результаты исследования свидетельствуют о том, что при асимметрии просвета в референсном сегменте средний диаметр просвета сегмента является заниженной оценкой ожидаемого нормального диаметра артерии в зоне стеноза и его использование в качестве референсного значения при выборе диаметра стента ассоциируется с недостаточным раскрытием стента. В данной ситуации более эффективным может оказаться выбор диаметра стента по максимальному диаметру просвета в референсном сегменте.

### Информация об авторах

*Суслов Иван Владимирович*, младший научный сотрудник, аспирант лаборатории рентгенэндоваскулярной хирургии Научно-исследовательского института кардиологии – филиала Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Томский национальный исследовательский медицинский центр Российской академии наук», Томск, Российская Федерация; **ORCID** 0000-0002-0288-4191

*Пекарский Станислав Евгеньевич*, доктор медицинских наук ведущий научный сотрудник лаборатории рентгенэндоваскулярной хирургии Научно-исследовательского института кардиологии – филиала Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Томский национальный исследовательский медицинский центр Российской академии наук», Томск, Российская Федерация; **ORCID** 0000-0002-4008-4021

*Баев Андрей Евгеньевич*, кандидат медицинских наук заведующий лабораторией рентгенэндоваскулярных диагностики и лечения Научно-исследовательского института кардиологии – филиала Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Томский национальный исследовательский медицинский центр Российской академии наук», Томск, Российская Федерация; **ORCID** 0000-0002-8163-1618

*Тарасов Михаил Георгиевич*, младший научный сотрудник, врач функциональной диагностики Научно-исследовательского института кардиологии – филиала Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Томский национальный исследовательский медицинский центр Российской академии наук», Томск, Российская Федерация; **ORCID** 0000-0001-5263-9488

*Гергерт Егор Сергеевич*, младший научный сотрудник, заведующий отделением рентгенохирургических методов диагностики и лечения Научно-исследовательского института кардиологии – филиала Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Томский национальный исследовательский медицинский центр Российской академии наук», Томск, Российская Федерация; **ORCID** 0000-0001-9464-3354

*Громовой Роман Михайлович*, младший научный сотрудник лаборатории рентгенэндоваскулярной хирургии, врач по рентгенэндоваскулярной диагностике и лечению Научно-исследовательского института кардиологии – филиала

### Конфликт интересов

И.В. Суслов заявляет об отсутствии конфликта интересов. С.Е. Пекарский заявляет об отсутствии конфликта интересов. А.Е. Баев заявляет об отсутствии конфликта интересов. М.Г. Тарасов заявляет об отсутствии конфликта интересов. Е.С. Гергерт заявляет об отсутствии конфликта интересов. Р.М. Громовой заявляет об отсутствии конфликта интересов. Ю.И. Богданов заявляет об отсутствии конфликта интересов. С.М. Султанов заявляет об отсутствии конфликта интересов. А.А. Гороховский заявляет об отсутствии конфликта интересов. Д.О. Ивашков заявляет об отсутствии конфликта интересов.

### Финансирование

Авторы заявляют об отсутствии финансирования исследования.

### Author Information Form

*Suslov Ivan V.*, Junior Researcher, Post-graduate Student at the Laboratory of Image-guided Endovascular Surgery, Cardiology Research Institute, a branch of the Federal State Budgetary Institution “Tomsk National Research Medical Center” of the Russian Academy of Sciences, Tomsk, Russian Federation; **ORCID** 0000-0002-0288-4191

*Pekarskiy Stanislav E.*, PhD, Leading Researcher at the Laboratory of Image-guided Endovascular Surgery, Cardiology Research Institute, a branch of the Federal State Budgetary Institution “Tomsk National Research Medical Center” of the Russian Academy of Sciences, Tomsk, Russian Federation; **ORCID** 0000-0002-4008-4021

*Baev Andrey E.*, PhD, Head of the Laboratory of Image-guided Endovascular Diagnostics and Treatment, Cardiology Research Institute, a branch of the Federal State Budgetary Institution “Tomsk National Research Medical Center” of the Russian Academy of Sciences, Tomsk, Russian Federation; **ORCID** 0000-0002-8163-1618

*Tarasov Mikhail G.*, Junior Researcher, Functional Diagnostics Specialist at the Cardiology Research Institute, a branch of the Federal State Budgetary Institution “Tomsk National Research Medical Center” of the Russian Academy of Sciences, Tomsk, Russian Federation; **ORCID** 0000-0001-5263-9488

*Gergert Egor S.*, Junior Researcher, Head of the Department of Image-guided Endovascular Diagnostics and Treatment, Cardiology Research Institute, a branch of the Federal State Budgetary Institution “Tomsk National Research Medical Center” of the Russian Academy of Sciences, Tomsk, Russian Federation; **ORCID** 0000-0001-9464-3354

*Gromovoy Roman M.*, Junior Researcher at the Laboratory of Image-guided Endovascular Surgery, Image-guided Endovascular Diagnostics and Treatment Specialist at the Cardiology Research Institute, a branch of the Federal State

Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Томский национальный исследовательский медицинский центр Российской академии наук», Томск, Российская Федерация; **ORCID** 0000-0001-9004-4768

*Богданов Юрий Игоревич*, младший научный сотрудник, врач по рентгенэндоваскулярным диагностике и лечению Научно-исследовательского института кардиологии – филиала Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Томский национальный исследовательский медицинский центр Российской академии наук», Томск, Российская Федерация; **ORCID** 0000-0003-2939-6291

*Султанов Сыргак Мавланович*, младший научный сотрудник, врач по рентгенэндоваскулярным диагностике и лечению Научно-исследовательского института кардиологии – филиала Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Томский национальный исследовательский медицинский центр Российской академии наук», Томск, Российская Федерация; **ORCID** 0000-0002-1569-2914

*Гороховский Алексей Александрович*, младший научный сотрудник, аспирант лаборатории рентгенэндоваскулярной хирургии Научно-исследовательского института кардиологии – филиала Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Томский национальный исследовательский медицинский центр Российской академии наук», Томск, Российская Федерация; **ORCID** 0000-0003-3909-9282

*Ивашков Денис Олегович*, лаборант-исследователь лаборатории рентгенэндоваскулярной хирургии Научно-исследовательского института кардиологии – филиала Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Томский национальный исследовательский медицинский центр Российской академии наук», Томск, Российская Федерация; **ORCID** 0009-0001-8838-3119

Budgetary Institution “Tomsk National Research Medical Center” of the Russian Academy of Sciences, Tomsk, Russian Federation; **ORCID** 0000-0001-9004-4768

*Bogdanov Yuri I.*, Junior Researcher, Image-guided Endovascular Diagnostics and Treatment Specialist at the Cardiology Research Institute, a branch of the Federal State Budgetary Institution “Tomsk National Research Medical Center” of the Russian Academy of Sciences, Tomsk, Russian Federation; **ORCID** 0000-0003-2939-6291

*Sultanov Syrgak M.*, Junior Researcher, Image-guided Endovascular Diagnostics and Treatment Specialist at the Cardiology Research Institute, a branch of the Federal State Budgetary Institution “Tomsk National Research Medical Center” of the Russian Academy of Sciences, Tomsk, Russian Federation; **ORCID** 0000-0002-1569-2914

*Gorokhovskiy Alexey A.*, Junior Researcher, Post-graduate Student at the Laboratory of Image-guided Endovascular Surgery, Cardiology Research Institute, a branch of the Federal State Budgetary Institution “Tomsk National Research Medical Center” of the Russian Academy of Sciences, Tomsk, Russian Federation; **ORCID** 0000-0003-3909-9282

*Ivashkov Denis O.*, Laboratory Assistant at the Laboratory of Image-Guided Endovascular Surgery, Cardiology Research Institute, a branch of the Federal State Budgetary Institution “Tomsk National Research Medical Center” of the Russian Academy of Sciences, Tomsk, Russian Federation; **ORCID** 0009-0001-8838-3119

#### Вклад авторов в статью

*СИБ* – вклад в концепцию и дизайн исследования, получение, анализ и интерпретация данных исследования, написание статьи, утверждение окончательной версии для публикации, полная ответственность за содержание

*ПСЕ* – вклад в концепцию и дизайн исследования, получение, анализ и интерпретация данных исследования, корректировка статьи, утверждение окончательной версии для публикации, полная ответственность за содержание

*БАЕ* – интерпретация данных исследования, корректировка статьи, утверждение окончательной версии для публикации, полная ответственность за содержание

*ТМГ* – интерпретация данных исследования, корректировка статьи, утверждение окончательной версии для публикации, полная ответственность за содержание

*ГЕС* – интерпретация данных исследования, корректировка статьи, утверждение окончательной версии для публикации, полная ответственность за содержание

*ГРМ* – интерпретация данных исследования, корректировка статьи, утверждение окончательной версии для публикации, полная ответственность за содержание

*БЮИ* – интерпретация данных исследования, корректировка статьи, утверждение окончательной версии для публикации, полная ответственность за содержание

*ССМ* – интерпретация данных исследования, корректировка статьи, утверждение окончательной версии для публикации, полная ответственность за содержание

*ГАА* – интерпретация данных исследования, корректировка статьи, утверждение окончательной версии для публикации, полная ответственность за содержание

#### Author Contribution Statement

*SIV* – contribution to the concept and design of the study, data collection, analysis and interpretation, manuscript writing, approval of the final version, fully responsible for the content

*PSE* – contribution to the concept and design of the study, data collection, analysis and interpretation, editing, approval of the final version, fully responsible for the content

*BAE* – data interpretation, editing, approval of the final version, fully responsible for the content

*TMG* – data interpretation, editing, approval of the final version, fully responsible for the content

*GES* – data interpretation, editing, approval of the final version, fully responsible for the content

*GRM* – data interpretation, editing, approval of the final version, fully responsible for the content

*BYU* – data interpretation, editing, approval of the final version, fully responsible for the content

*SSM* – data interpretation, editing, approval of the final version, fully responsible for the content

*GAA* – data interpretation, editing, approval of the final version, fully responsible for the content

*ИДО* – интерпретация данных исследования, корректировка статьи, утверждение окончательной версии для публикации, полная ответственность за содержание

*IDO* – data interpretation, editing, approval of the final version, fully responsible for the content

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Алекаян Б.Г., Григорьян А.М., Стаферов А.В., Карапетян Н.Г. Рентгенэндоваскулярная диагностика и лечение заболеваний сердца и сосудов в Российской Федерации – 2021 год. Эндоваскулярная хирургия. 2022; 9 (Специальный выпуск): 5–254.
2. Bergmark B, Dallan LAP, Pereira GTR, Kuder JF, Murphy SA, Buccola J, Wollmuth J, Lopez J, Spinelli J, Meinen J, West NEJ, Croce K; LightLab Initiative Investigators. Decision-Making During Percutaneous Coronary Intervention Guided by Optical Coherence Tomography: Insights From the LightLab Initiative. *Circ Cardiovasc Interv.* 2022 Nov;15(11):872-881. doi: 10.1161/CIRCINTERVENTIONS.122.011851. Epub 2022 Nov 15. PMID: 36378739; PMCID: PMC9648988.
3. Shlofmitz E, Croce K, Bezerra H, Sheth T, Chehab B, West NEJ, Shlofmitz R, Ali ZA. The MLD MAX OCT algorithm: An imaging-based workflow for percutaneous coronary intervention. *Catheter Cardiovasc Interv.* 2022 Nov;100(Suppl 1):S7-S13. doi: 10.1002/ccd.30395. PMID: 36661367.
4. Ali ZA, Maehara A, Généreux P, Shlofmitz RA, Fabbiochi F, Nazif TM, Guagliumi G, Meraj PM, Alfonso F, Samady H, Akasaka T, Carlson EB, Leesar MA, Matsumura

- M, Ozan MO, Mintz GS, BenYehuda O, Stone GW. Optical coherence tomography compared with intravascular ultrasound and with angiography to guide coronary stent implantation (ILUMIEN III: oPTIMIZE PCI): a randomised controlled trial. *Lancet.* 2016;388:2618-28.
5. Kubo T, Shinke T, Okamura T, Hibi K, Nakazawa G, Morino Y, Shite J, Fusazaki T, Otake H, Kozuma K, Ioji T, Kaneda H, Serikawa T, Kataoka T, Okada H, Akasaka T; OPINION Investigators. Optical frequency domain imaging vs. intravascular ultrasound in percutaneous coronary intervention (OPINION trial): one-year angiographic and clinical results. *Eur Heart J.* 2017 Nov 7;38(42):3139-3147. doi: 10.1093/eurheartj/ehx351. PMID: 29121226; PMCID: PMC5837511.
6. Albiero R, Burzotta F, Lassen JF, Lefèvre T, Banning AP, Chatzizisis YS, Johnson TW, Ferenc M, Pan M, Daramont O, Hildick-Smith D, Chieffo A, Louvard Y, Stankovic G. Treatment of coronary bifurcation lesions, part I: implanting the first stent in the provisional pathway. The 16th expert consensus document of the European Bifurcation Club. *EuroIntervention.* 2022 Aug 5;18(5):e362-e376. doi: 10.4244/EIJ-D-22-00165. PMID: 35570748; PMCID: PMC10259243.

### REFERENCES

1. Alekyan B.G., Grigor'yan A.M., Staferov A.V., Karapetyan N.G. Endovascular diagnostics and treatment in the Russian Federation (2021). *Russian Journal of Endovascular Surgery.* 2022; 9 (Special Issue): S5–S254 (in Russ.). doi: 10.24183/2409-4080-2022-9S-S5-S254.
2. Bergmark B, Dallan LAP, Pereira GTR, Kuder JF, Murphy SA, Buccola J, Wollmuth J, Lopez J, Spinelli J, Meinen J, West NEJ, Croce K; LightLab Initiative Investigators. Decision-Making During Percutaneous Coronary Intervention Guided by Optical Coherence Tomography: Insights From the LightLab Initiative. *Circ Cardiovasc Interv.* 2022 Nov;15(11):872-881. doi: 10.1161/CIRCINTERVENTIONS.122.011851. Epub 2022 Nov 15. PMID: 36378739; PMCID: PMC9648988.
3. Shlofmitz E, Croce K, Bezerra H, Sheth T, Chehab B, West NEJ, Shlofmitz R, Ali ZA. The MLD MAX OCT algorithm: An imaging-based workflow for percutaneous coronary intervention. *Catheter Cardiovasc Interv.* 2022 Nov;100(Suppl 1):S7-S13. doi: 10.1002/ccd.30395. PMID: 36661367.
4. Ali ZA, Maehara A, Généreux P, Shlofmitz RA, Fabbiochi F, Nazif TM, Guagliumi G, Meraj PM, Alfonso F, Samady H, Akasaka T, Carlson EB, Leesar MA, Matsumura

- M, Ozan MO, Mintz GS, BenYehuda O, Stone GW. Optical coherence tomography compared with intravascular ultrasound and with angiography to guide coronary stent implantation (ILUMIEN III: oPTIMIZE PCI): a randomised controlled trial. *Lancet.* 2016;388:2618-28.
5. Kubo T, Shinke T, Okamura T, Hibi K, Nakazawa G, Morino Y, Shite J, Fusazaki T, Otake H, Kozuma K, Ioji T, Kaneda H, Serikawa T, Kataoka T, Okada H, Akasaka T; OPINION Investigators. Optical frequency domain imaging vs. intravascular ultrasound in percutaneous coronary intervention (OPINION trial): one-year angiographic and clinical results. *Eur Heart J.* 2017 Nov 7;38(42):3139-3147. doi: 10.1093/eurheartj/ehx351. PMID: 29121226; PMCID: PMC5837511.
6. Albiero R, Burzotta F, Lassen JF, Lefèvre T, Banning AP, Chatzizisis YS, Johnson TW, Ferenc M, Pan M, Daramont O, Hildick-Smith D, Chieffo A, Louvard Y, Stankovic G. Treatment of coronary bifurcation lesions, part I: implanting the first stent in the provisional pathway. The 16th expert consensus document of the European Bifurcation Club. *EuroIntervention.* 2022 Aug 5;18(5):e362-e376. doi: 10.4244/EIJ-D-22-00165. PMID: 35570748; PMCID: PMC10259243.

**Для цитирования:** Суслов 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. DOI: 10.17802/2306-1278-2024-13-3-37-46

**To cite:** Suslov I.V., Pekarsky S.E., Baev A.E., Tarasov M.G., Hergert E.S., Gromovoy R.M., Sultanov S.M., Gorokhovskiy A.A., Ivashkov 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. DOI: 10.17802/2306-1278-2024-13-3-37-46