



<https://doi.org/10.29001/2073-8552-2024-39-2-58-68>  
УДК 616.12-005.4:616.132.2-089.819.5-073.756.8

# Возможности применения оптической когерентной томографии в повседневной клинической практике (обзор литературы)

**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**

Научно-исследовательский институт кардиологии, Томский национальный исследовательский медицинский центр Российской академии наук (НИИ кардиологии Томского НИМЦ),  
634012, Российская Федерация, Томск, ул. Киевская, 111а

## Аннотация

Ишемическая болезнь сердца (ИБС) остается главной причиной смерти взрослого населения России. Эффективным патогенетическим способом лечения данной патологии является реваскуляризация миокарда, выполняемая эндоваскулярным или хирургическим способом. Сочетание хирургической радикальности и малой травматичности сделало стентирование коронарных артерий ведущим способом лечения ИБС: сегодня в России количество проводимых операций чрескожного коронарного вмешательства (ЧКВ) примерно в 6 раз превышает количество операций коронарного шунтирования (КШ). Однако ЧКВ показали сравнительно меньшую отдаленную эффективность, чем КШ и, таким образом, нуждаются в совершенствовании. Учитывая количество выполняемых ЧКВ, любое существенное повышение эффективности данного метода способно обеспечить значительное снижение смертности от ИБС и, соответственно, смертности в целом. Одним из наиболее перспективных направлений повышения эффективности ЧКВ сегодня является использование современных технологий внутрисосудистой визуализации.

<b>Ключевые слова:</b>	ишемическая болезнь сердца; чрескожное коронарное вмешательство высокого риска; протяженное поражение коронарных артерий; бифуркационное поражение коронарных артерий; оптическая когерентная томография.
<b>Конфликт интересов:</b>	авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.
<b>Финансирование:</b>	работа выполнена без задействования грантов и финансовой поддержки от общественных, некоммерческих и коммерческих организаций.
<b>Для цитирования:</b>	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. Возможности применения оптической когерентной томографии в повседневной клинической практике (обзор литературы). Сибирский журнал клинической и экспериментальной медицины. 2024;39(2):58–68. <a href="https://doi.org/10.29001/2073-8552-2024-39-2-58-68">https://doi.org/10.29001/2073-8552-2024-39-2-58-68</a> .

# Possibility of using optical coherence tomography in daily clinical practice (review)

**Ivan V. Suslov, Stanislav E. Pekarsky, Andrey E. Baev, Mikhail G. Tarasov,  
Egor S. Hergert, Roman M. Gromovoy, Yury I. Bogdanov, Sirgak M. Sultanov,  
Alexei A. Gorokhovsky**

Cardiology Research Institute, Tomsk National Research Medical Center, Russian Academy of Sciences, Tomsk, Russia  
(Cardiology Research Institute, Tomsk NRMC),  
111a, Kievskaya str., Tomsk, 634012, Russian Federation

Суслов Иван Владимирович, e-mail: straiker.acer@gmail.com.

## Abstract

Coronary heart disease (CHD) remains the primary cause of death among the adult population of Russian Federation. An effective pathogenetic method for treating this pathology is revascularization of coronary arteries, performed endovascularly or surgically. The combination of surgical radicalism and low traumatism has made stenting of the coronary arteries the leading method of CHD treating: today in Russia the number of percutaneous coronary intervention (PCI) operations is approximately 6 times higher than the number of coronary artery bypass grafting (CABG) operations. However, PCI showed comparatively lower long-term effectiveness than CABG and thus needs to be improved. Considering the number of PCIs performed, any significant increase in the effectiveness of this method can provide a significant reduction in mortality from coronary artery disease and, accordingly, mortality in general. One of the most promising ways to increase the effectiveness of PCI today is the use of modern intravascular imaging technologies.

<b>Keywords:</b>	coronary heart disease; percutaneous coronary intervention; long coronary artery lesion; bifurcation coronary artery lesion; optical coherence tomography.
<b>Conflict of interest:</b>	the authors declare no conflict of interest.
<b>Funding:</b>	the work was performed without grant or financial support from public, non-profit and commercial organizations.
<b>For citation:</b>	Suslov I.V., Pekarsky S.E., Baev A.E., Tarasov M.G., Hergert E.S., Gromovoy R.M., Bogdanov Yu.I., Sultanov S.M., Gorokhovsky A.A. Possibility of using optical coherence tomography in daily clinical practice (review). <i>Siberian Journal of Clinical and Experimental Medicine</i> . 2024;39(2):56–66. <a href="https://doi.org/10.29001/2073-8552-2024-39-2-56-66">https://doi.org/10.29001/2073-8552-2024-39-2-56-66</a> .

## Введение

Ишемическая болезнь сердца (ИБС) остается главной причиной смерти взрослого населения Российской Федерации (РФ). Эффективным патогенетическим способом ее лечения является реваскуляризация миокарда хирургическим или эндоваскулярным способом. Сочетание хирургической радикальности и малой травматичности сделало последний артерий ведущим способом лечения ИБС: сегодня в России количество проводимых операций чрескожного коронарного вмешательства (ЧКВ) примерно в 6 раз превышает количество операций коронарного шунтирования (КШ) [1]. Однако ЧКВ показали сравнительно меньшую отдаленную эффективность, чем КШ, поэтому они нуждаются в совершенствовании. Учитывая количество выполняемых ЧКВ, любое повышение эффективности данного метода способно обеспечить значительное снижение смертности от ИБС и смертности в целом. Одним из наиболее перспективных направлений повышения эффективности ЧКВ сегодня является использование внутрисосудистой визуализации (ВСВ).

Методы ВСВ коронарных артерий, такие как оптическая когерентная томография (ОКТ) и внутрисосудистое ультразвуковое исследование (ВСУЗИ), предоставляют ценную информацию для практического использования при имплантации стента и последующего снижения стент-ассоциированных событий. Становится возможным осуществить точный подбор размеров стента, его посадочной зоны и в целом определить тактику стентирования. Применение ВСВ после стентирования позволяет оценить стент на уровне его перекладин, определить дефекты, связанные с его имплантацией (например, недораскрытие или краевую диссекцию), а также при необходимости провести их оптимизацию. В ряде наблюдательных [2], а также рандомизированных клинических исследований [3] и метаанализов [4, 5] продемонстрировано преимущество ВСУЗИ-ассистированного ЧКВ перед стандартным ЧКВ не только в отношении улучшения periоперационного результата, но и в отношении отдаленных клинических исходов.

Несмотря на это, применение ВСВ остается ограниченным в силу ряда причин, хотя и постепенно набирает обороты по абсолютному количеству выполненных вмешательств: в 2017 г. ВСВ при ЧКВ применялись 1768 (0,9% всех случаев), в 2018 г. – 1862 (0,8%), в 2019 г. – 1777 (0,7%), в 2020 г. – 1401 (0,6%), в 2021 г. – 1826 раз (0,7%).

Интерес к использованию ВСВ растет вследствие повышения сложности ЧКВ и увеличения количества убедительных данных в пользу применения ВСВ в клинической практике.

## Применение оптической когерентной томографии в клинической практике

Благодаря разрешению в 10 мкм и излучению в ближнем инфракрасном диапазоне, ОКТ предлагает новое представление о стенке и просвете коронарной артерии, позволяя точно определять морфологию и геометрию поражений. ОКТ может проникать в кальцинированные отложения и оценивать их толщину в дополнение к дуге и длине. Это позволяет более дифференцированно определять показания к использованию дополнительных технологий модификации таких поражений (например, ротабляцию). Высокое разрешение ОКТ дает возможность выявлять фибротеромы с тонкой крышкой – поражения, характеризующиеся высоким риском разрыва и последующей тромботической окклюзии артерии. В дополнение ОКТ позволяет отличать белые тромбы от красных (инфракрасное излучение ОКТ поглощается красным тромбом, вызывая затемнение). Указанный метод также имеет доказанное превосходство в обнаружении мальапозиции стента и краевых диссекций, ассоциирующихся с повышенным риском неблагоприятных исходов ЧКВ [6].

Интересным направлением развития ОКТ сегодня является разработка способов косвенной оценки функциональной значимости стеноза. В одноцентровом проспективном исследовании FORZA авторы рандомизировали пациентов с граничными поражениями коронарных артерий в группу ЧКВ под контролем ОКТ и ЧКВ под

контролем фракционного резерва кровотока (ФРК) [7]. Были верифицированы следующие критерии функциональной значимости поражения для группы ОКТ:

1. Площадь стеноза  $\geq 75\%$ .
2. Площадь стеноза  $> 50\%$  и  $< 75\%$  при наличии минимальной площади просвета менее  $2,5 \text{ mm}^2$  или повреждения бляшки.

Было показано, что частота развития больших неблагоприятных сердечно-сосудистых событий (MACE – major adverse cardiac events – основные неблагоприятные кардиальные события) в группе ОКТ была ниже, чем в группе ФРК (8,0 против 14,8% соответственно,  $p = 0,048$ ). Результат был обусловлен статистически незначимым более низким уровнем всех компонентов первичной конечной точки. Несостоятельность целевого сосуда значительно реже возникала у пациентов из группы ОКТ (2,3 против 7,4% в группе FFR;  $p = 0,027$ ). Данное исследование показывает, что ОКТ потенциально способно определять функциональную значимость стенозов.

Однако у ФРК/МРК остается неоспоримое преимущество – способность выявлять функциональную незначимость стенозов, возникающую вследствие компенсации коллатеральным кровотоком. Очевидно, что на это ВСВ в принципе не способна. Есть и другие ограничения данного исследования: маленькая выборка, первичная комбинированная конечная точка включала стенокардию (слабый индикатор клинической неэффективности ЧКВ), более низкая частота двойной антитромбоцитарной терапии в группе ФРК. Более того, при выполнении ЧКВ под контролем ФРК оценка имплантации стента была основана на результатах ангиографии и значениях инвазивного давления. То есть в группе ФРК могли иметь место недоработка диаметра сосуда и, соответственно, подобранныго оборудования (диаметр стента в группе ОКТ составил в среднем  $3,2 \pm 0,5 \text{ mm}$ , а в группе ФРК –  $2,9 \pm 0,3 \text{ mm}$ ,  $p = 0,009$ ), а также недостаточная оптимизация стентирования ввиду отсутствия информации о наличии дефектов имплантации. Это также могло повлиять на результаты исследования.

### Сравнение оптической когерентной томографии и ангиографии

В наблюдательном ретроспективном исследовании CLI-OPTI впервые были получены доказательства улучшения клинических исходов после оптимизации стентирования под контролем ОКТ в сравнении с ЧКВ под контролем только ангиографии [8]. Авторы продемонстрировали, что в группе ОКТ был более низкий риск развития сердечной смерти (1,2 против 4,5%,  $p = 0,010$ ), составной конечной точки: сердечная смерть или острый инфаркт миокарда (ОИМ) (6,6 против 13,0%,  $p = 0,006$ ) и составной конечной точки: сердечная смерть или ОИМ или повторная реваскуляризация (9,6 против 14,8%,  $p = 0,044$ ) в течение одного года. При этом разницы в частоте наступления повторной реваскуляризации целевого поражения и установленного тромбоза стента выявлено не было.

Также указанные модальности контроля ЧКВ сравнивались в нескольких рандомизированных клинических исследованиях (РКИ) [9, 10]. Несмотря на выявленное убедительное превосходство ОКТ, сохраняется некоторая неопределенность в отношении превосходства ОКТ над ангиографическим контролем ввиду ограниченной мощности данных исследований [5, 11, 12]. В метаана-

лизе 13 исследований, в т. ч. 5 РКИ, было установлено, что ОКТ-ассистированное ЧКВ ассоциировано с уменьшением сердечно-сосудистой смертности и смертности от всех причин в сравнении с ЧКВ под контролем ангиографии [12]. Авторы не выявили значимой разницы в отношении частоты наступления стент-ассоциированных событий (тромбоз стента, реваскуляризация целевого поражения / сосуда), но отметили тенденцию к большему уровню минимальной площади стента (MSA). Было рекомендовано рассматривать превосходство ОКТ над ангиографией лишь как гипотезу, требующую дальнейшей верификации.

В крупном когортном исследовании Pan-London, включавшем 87 166 пациентов, подвергшихся ЧКВ, в т. ч. с использованием ОКТ и ВСУЗИ, выявили, что ОКТ ассоциируется с более высокой частотой процедурного успеха и снижением частоты госпитальных MACE [13]. Была отмечена значимая разница в смертности между пациентами, подвергшимися ЧКВ под контролем ОКТ (7,7%), ВСУЗИ (12,2%) и только ангиографии (15,7%),  $p < 0,0001$ .

В более позднем метаанализе, включавшем 11 исследований, было продемонстрировано значительное снижение частоты MACE ( $p < 0,001$ ), смерти от сердечно-сосудистых причин ( $p < 0,001$ ) в группе ОКТ-контролируемой ЧКВ. Что касается снижения риска перипроцедурного инфаркта миокарда, тромбоза стента, повторной реваскуляризации целевого сосуда, минимальной площади стента и нежелательных явлений, связанных с процедурой ЧКВ, то здесь между группами сравнения не было отмечено значимых различий ( $p = 0,05$ ;  $p = 0,56$ ;  $p = 0,17$ ;  $p = 0,56$ ;  $p = 0,27$  соответственно) [14].

В многоцентровом проспективном рандомизированном исследовании ILLUMIEN-IV, результаты которого были опубликованы в журнале «The New England Journal of Medicine» в августе 2023 г., было проведено сравнение ЧКВ высокого риска под контролем ОКТ и под контролем только ангиографии. Цель данного исследования: демонстрация превосходства ЧКВ под контролем ОКТ в (1) достижении большего размера просвета сосуда после ЧКВ и (2) улучшении сердечно-сосудистых исходов у пациентов с диабетом и / или сложными поражениями [15]. Авторы указали две первичные конечные точки: (а) конечная точка визуализации – окончательная MSA после ЧКВ для каждого целевого поражения, оцениваемая с помощью ОКТ и (б) клиническая первичная конечная точка – недостаточность целевого сосуда. Последняя определялась как наступление одного из следующих событий: сердечная смерть, инфаркт миокарда или реваскуляризации целевого сосуда по причине ишемии в период до двух лет. По итогу исследования были выявлены статистически значимые различия частоты наступления первичной конечной точки визуализации. MSA после ЧКВ в группе ОКТ составила  $5,72 \pm 2,04 \text{ mm}^2$ , а в группе ангиографии –  $5,36 \pm 1,87 \text{ mm}^2$  ( $p < 0,001$ ). При этом не было выявлено значимых различий между группами в частоте конечной точки (б) ( $p = 0,45$ ) [16].

### Оптическая когерентная томография и внутрисосудистое ультразвуковое исследование

ВСУЗИ является относительно старым методом, с которым хорошо знакомы интервенционные кардиологи. К настоящему времени накоплен большой массив данных, подтверждающий клиническую пользу применения этого вида ВСВ при различных клинических сценариях. В то же

время ОКТ является относительно новой модальностью, для которой ощущается недостаточность научных данных.

В различных исследованиях, в т. ч. крупных многоцентровых РКИ, было показано, что ОКТ не хуже ВСУЗИ в отношении частоты неблагоприятных клинических исходов в течение первого года после индексной процедуры [9, 17, 18]. В рандомизированном исследовании OPINION, первичной конечной точкой которого был TVF, ОКТ оказалось не хуже ВСУЗИ [18]. Точно также не было разницы и по частоте возникновения рестеноза в течение 8 мес. наблюдения. Но ввиду того, что референсные значения для выбора диаметра оборудования (баллонов и стентов) в группе ОКТ определялись по просвету сосуда, а в группе ВСУЗИ – по наружной эластической мемbrane (НЭМ), в последней рассчитанные диаметры оборудования были больше. Поскольку меньшая MSA является основной причиной ранней нестабильности стента, такая разница в диаметрах может быть минусом для ОКТ в сравнении с ВСУЗИ. В исследовании ILLUMIEN III сравнили ЧКВ под контролем ОКТ, ВСУЗИ и ангиографии [9]. В группе ОКТ диаметр оборудования определялся по НЭМ. В этом исследовании в отношении MSA группа ОКТ оказалась не хуже, чем группа ВСУЗИ, но и не лучше, чем группа ангиографии. Тем не менее, в группе ОКТ были менее распространены некорrigированные крупные краевые диссекции и мальапозиции в сравнении с ВСУЗИ, чаще выполнялась постдилатация, использовались баллоны большего размера и давления в сравнении с группой ангиографии. Исходы в течение одного года между тремя группами были сопоставимыми, хотя мощности для выявления различий оказалось недостаточно. В метаанализе также не было обнаружено различий при сравнении клинической эффективности между ОКТ и ВСУЗИ [12].

Между ОКТ и ВСУЗИ ввиду наличия фундаментальных технических ограничений возникают и различия по применимости. ОКТ ввиду более низкой проникающей способности не способна визуализировать стенку сосуда на глубине, достаточной, например, для оценки толщины липидного ядра и *vasa vasorum*. Но более высокая разрешающая способность ОКТ позволяет точнее анализировать структуру интимы и медии с оценкой толщины фиброзной покрышки и кальциевых включений. При имплантации стента ОКТ обеспечивает более высокую чувствительность к обнаружению субоптимального результата (диссекция, протрузия ткани, мальапозиция стента, пристеночный тромбоз). Эти различия влияют на тактику ЧКВ: недостаточная глубина визуализации может приводить к использованию стентов меньшего размера, а более высокое разрешение – к уменьшению числа нелеченых диссекций / протрузий ткани [12]. К настоящему времени в единственном исследовании, оценившем связь таких находок, характерных только для ОКТ, с различными событиями и с частотой реваскуляризации целевого сосуда (*target vessel revascularization* – TVR), CLI-OPCI II было установлено, что наличие, по крайней мере, одного значимого критерия субоптимальной установки стента, по данным ОКТ, является независимым предиктором МАСЕ (heart rate (HR): 3,53; 95% ДИ: 2,2–5,8;  $p < 0,001$ ) [19]. Эти критерии были следующими: значимая остаточная протрузия бляшки / тромба через ячейку стента (HR: 2,35;  $p < 0,01$ ), MSA  $< 4,5 \text{ mm}^2$  (HR: 2,72;  $p < 0,01$ ), диссекция  $> 2 \text{ мкм}$  на дистальном крае стента (HR: 3,84;  $p < 0,01$ ), референсная площадь просвета на дистальном (HR: 6,07;  $p < 0,001$ ) или проксимальном (HR: 8,50;  $p < 0,001$ )

крае стента  $< 4,5 \text{ mm}^2$ . Таким образом, оптимизация указанных дефектов может улучшить как среднесрочные, так и отдаленные исходы ЧКВ.

## Внутрисосудистая визуализация в действующих Клинических рекомендациях

Широкому внедрению ВСВ препятствуют дополнительные риски (удлинение процедуры, увеличение дозы облучения и контраста, дополнительные манипуляции проводником), высокая стоимость метода и т. д. Не менее важным является отсутствие оптимальных показаний к применению ВСВ, в рамках которых использование дорогостоящего инструментария сопровождается реальным значимым снижением заболеваемости и смертности. В консенсусе экспертов Европейской ассоциации чрескожных сердечно-сосудистых вмешательств по клиническому применению внутрисосудистой визуализации (2018) [20] указано, что «имеются убедительные доказательства преимуществ внутрисосудистой визуализации для контроля стентирования при сложной морфологии поражений и у пациентов с ОКС, с меньшими преимуществами при более простых поражениях или у пациентов с более стабильной клинической картиной». В том же документе представлены некоторые показания к использованию ВСВ. Из них только показания к применению ВСУЗИ при стентировании длинных поражений и хронических окклюзий коронарных артерий основаны на результатах РКИ, остальные представляют собой исключительно мнение экспертов.

В клинических рекомендациях Минздрава РФ № 155 по лечению пациентов со стабильной ИБС от 2020 г. применение ВСВ описано довольно скучно [21]. Они рекомендуют использовать ВСВ при отсутствии возможности получения данных нагрузочного стресс-тестирования и / или определения ФРК / МРК (моментального резерва кровотока) и для оптимизации результатов стентирования ствола левой коронарной артерии (ЛКА) (ЕОК IIa В; УУР С, УДД 2). Рутинное выполнение ВСВ не рекомендовано. Однако остаются неясными критерии «не рутинного» применения ВСВ. Так, например, нет указаний на возможность применения ВСВ при сложных ЧКВ кроме поражения ствола ЛКА, где ВСВ могла бы улучшить клинические исходы реваскуляризации за счет лучшего технического исполнения ЧКВ.

В европейских клинических рекомендациях по реваскуляризации миокарда (2018) представлены 2 тезис-рекомендации [22]. ВСВ следует использовать у некоторых пациентов для оптимизации стентирования (Класс IIa; Уровень В), а также для диагностики стент-ассоциированных механических нарушений, ведущих к рестенозу (Класс IIa; Уровень С). При этом в первой тезис-рекомендации нет подробной расшифровки, каким именно пациентам следует выполнять ВСВ. Вероятно, подразумевается, что решение о необходимости применения той или иной модальности остается на усмотрение оператора и зависит от ряда факторов: оснащенности рентгеноперационной, опыта оператора и конкретной клинической ситуации. Вторая тезис-рекомендация, по своей сути, указывает на возможность применения ВСВ с целью оптимизации стентирования. При этом не конкретизируются дефекты имплантации стента, требующие коррекции тем или иным методом, не указываются критерии их эффективной оптимизации.

Максимально подробно показания к ВСВ прописаны в клинических рекомендациях по реваскуляризации ACC/AHA/SCAI (2021) [16]:

1. У пациентов с промежуточным стенозом ствола ЛКА целесообразно использовать ВСУЗИ для определения тяжести поражения (COR 2a; LOE B-NR);

2. У пациентов, которым предстоит имплантация стента, ВСУЗИ может быть полезно для контроля ЧКВ в ситуации поражения ствола ЛКА или сложного (complex) стенотирования для снижения ишемических событий (COR 2a; B-R);

3. У пациентов, которым предстоит имплантация стента, ОКТ является разумной альтернативой ВСУЗИ для контроля ЧКВ, кроме устьевого поражения ствола ЛКА (COR 2a; B-R);

4. У пациентов с несостоительностью стента целесообразно применять ВСУЗИ или ОКТ для определения механизма несостоительности стента (COR 2a; C-LD).

В тех же рекомендациях указано, что ВСУЗИ и ОКТ могут помочь в оценке необходимости предварительной подготовки поражения, определении размера стента, минимизации «географического промаха», оценке раскрытия стента, оценке осложнений и выявления причин дисфункции стента. Несмотря на наличие указанных подробностей, в данных рекомендациях также отсутствуют критерии эффективной оптимизации.

### Оптимальная сфера применения внутрисосудистой визуализации – сложные ЧКВ высокого риска

#### Инициатива американского Общества сердечно-сосудистой ангиографии и интервенций (SCAI) по выделению категории высокорисковых ЧКВ

Анатомическая и клиническая сложность пациентов с ИБС увеличивается по мере старения популяции. Пожилой возраст, сопутствующие заболевания, нарушения гемодинамики, снижение сократительной функции сердца, сопутствующее нарушение функции сердечных клапанов увеличивают как процедурную сложность ЧКВ, так и риск неблагоприятных исходов для пациентов. Изначально основной целью ЧКВ были простые коронарные поражения, тогда как поражения со сложной анатомией были показанием для КШ. Однако совершенствование технологий ЧКВ, включая стенты с лекарственным покрытием (СЛП), резко расширило перечень показаний к ЧКВ, в т. ч. при сложных поражениях коронарных артерий, таких как стеноз ствола ЛКА, 3-сосудистые поражения, тяжелый кальциноз и хроническая окклюзия коронарной артерии (ХОКА). Несмотря на то, что РКИ продемонстрировали более благоприятные исходы КШ по сравнению с ЧКВ у пациентов с промежуточным или высоким значением по шкале SYNTAX, из них были исключены пациенты, признанные неоперабельными или имевшие высокий хирургический риск. У таких пациентов с высоким значением SYNTAX ЧКВ является единственным способом реваскуляризации.

В последнее время активно развивается концепция сложных высокорисковых вмешательств у пациентов с показаниями для реваскуляризации – Complex and High-Risk Interventions in Indicated Patients (CHIP) [23]. Определение сложных ЧКВ высокого риска было сформулировано Обществом сердечно-сосудистой ангиографии и интервенций (SCAI) в 2020 г. [24]. Определение ЧКВ как «сложного» или имеющего «высокий риск» основано на клинических, анатомических и процедурных признаках.

Чем больше признаков сложности поражений имеет пациент, тем больше риск при выполнении ЧКВ. Техни-

чески сложное ЧКВ у пациента с острым коронарным синдромом (ОКС), с низкой фракцией выброса, на фоне большого объема ишемизированного миокарда в зоне целевого стеноза, тяжелого коморбидного фона является экстремально опасным вмешательством ввиду высокого риска осложнений и неблагоприятного исхода. Сложность таких вмешательств предполагает использование всего спектра эндоваскулярных технологий и соответствующих дополнительных навыков, в т. ч. и по применению ВСВ.

Заключение экспертов SCAI гласит: «Для достижения оптимального результата лечения коронарной болезни сердца и исходов ЧКВ современному интервенционисту нужно иметь опыт в проведении и интерпретации результатов оценки внутрисосудистой физиологии и внутрисосудистой визуализации». ВСВ, в первую очередь, помогает при неоднозначной ангиографической картине, оценке распространенности поражения и кальцификации, а также способно облегчить выполнение ЧКВ за счет более точного определения размера целевого сегмента. В дополнение, ВСВ имеет решающее значение для профилактики и лечения несостоительности стента.

### Анатомические варианты с наибольшей потенциальной пользой внутрисосудистой визуализации

#### A. Бифуркационные поражения

Бифуркационное поражение (БП) – это сужение коронарной артерии вблизи и / или с вовлечением устья значимой боковой ветви [25]. Значимость боковой ветви определяется нежеланием ее потерять в глобальном контексте конкретного пациента, что определяется не только ее диаметром, но и связью с развитием ишемии миокарда, дисфункции левого желудочка и пр. Коронарный стеноз с вовлечением бифуркации развивается в 10–20% случаев [26–28]. Методики выполнения БП обычно характеризуются технической сложностью. Исторически данная категория пациентов была связана с более низкими показателями успешности процедуры и худшими клиническими результатами, чем при лечении небифуркационных поражений.

БП связано с субоптимальным клиническим результатом, включая более частое развитие тромбоза стента и незапланированную реваскуляризацию, в сравнении с небифуркационными поражениями [29]. Недавний мета-анализ также продемонстрировал, что бифуркационное поражение в сравнении с небифуркационным связано с повышенной частотой развития МАСЕ, преимущественно за счет смерти и реваскуляризации целевого поражения (но не инфаркта миокарда) [30]. Средняя продолжительность наблюдения в данном метаанализе составила 24 мес., при этом статистическая значимость худшего результата бифуркационного поражения сохранялась на протяжении всего времени наблюдения. Единственным значимым фактором развития МАСЕ, выявляемым до ЧКВ, по мнению авторов, является дистальное поражение ствола ЛКА. Среди процедурных характеристик, влияющих на исходы, одним из основных авторы указали применение СЛП 2-го поколения как фактора, снижающего частоту развития МАСЕ.

Имплантация стента активно влияет на локальную гемодинамику. При БП повторный тромбоз формируется чаще в области карнины, где балки стента часто не прилегают к стенке сосуда [31]. При этом эксцентричный нео-

интимальный рост наблюдается именно на латеральных стенках ветвей бифуркации [32] ввиду увеличения области низкого пристеночного напряжения сдвига, а формирование ячейки стента приводит к сокращению этой зоны [33, 34].

В этой связи возникает вопрос о выборе тактики бифуркационного стентирования. Согласно рекомендациям Европейского бифуркационного клуба, техникой выбора является провизионное стентирование (стентирование боковой ветви только при необходимости). Тем не менее изначальный выбор 2-стентовой техники остается актуальным при истинном бифуркационном поражении, т.е. с вовлечением боковой ветви (определяется по классификации Medina как 1,1,1, 1,0,1, 0,1,1) при диаметре боковой ветви  $\geq 2,5$  мм (оцениваемом по ангиографии) в сочетании с критериями, выявленными в исследовании DEFINITION II [35]:

1. Хотя бы один из больших критериев:

1) для поражения бифуркации ствола ЛКА: (а) длина поражения боковой ветви  $\geq 10$  мм и (б) стеноз боковой ветви по диаметру  $\geq 70\%$ ;

2) Для других БП (не-ствола ЛКА): (а) длина поражения боковой ветви  $\geq 10$  мм и (б) стеноз боковой ветви по диаметру  $\geq 90\%$ ;

2. В сочетании с любыми двумя малыми критериями:

- а) умеренная или выраженная кальцификация;
- б) множественное поражение;
- в) угол бифуркации  $< 45^\circ$ , или  $> 70^\circ$ ;
- г) референсный диаметр главного сосуда  $< 2,5$  мм;
- д) длина поражения главного сосуда  $\geq 25$  мм;
- е) наличие тромбоза целевого поражения.

По данным исследования DKCRUSH-V и ряда метаанализов, включавших данное исследование, при изначальном выборе 2-стентовой техники для стентирования бифуркации ствола ЛКА выполнение Double kissing crush (DK crush) продемонстрировало превосходство в отношении частоты снижения развития МАСЕ, сердечной смерти, TLR и тромбоза стента при сложном бифуркационном поражении, включая поражение бифуркации ствола ЛКА [36, 37]. Указывается, что при такой технике формируется неокарина, состоящая из балок стентов, плотно прилегающая к собственной карине без ее смещения. Этим объясняется превосходство DK crush над другими техниками [38]. Однако данный метод состоит из десяти последовательных шагов, что характеризует его высокую сложность исполнения и требует большой практики.

ОКТ является ценным инструментом при БП. На этапе оценки поражения ОКТ позволяет определить ряд параметров, влияющих на выбор тактики стентирования: протяженность и морфология поражения основного сосуда, наличие устьевого поражения боковой ветви, угол бифуркации, длина поражения боковой ветви, диаметр дистального референсного участка боковой ветви [39]. В сомнительных / сложных ситуациях ОКТ может выявить положение проводника за стентом, позволяя предотвратить деформацию стента при заведении и дилатации баллона. Как упоминалось выше, данный метод позволяет определить, в какую именно ячейку стента был заведен проводник. При заведении проводника через дистальную ячейку стента при последующей баллонной дилатации удается снизить металлическую нагрузку на карину и улучшить аппозицию стента в устье боковой ветви [38, 40].

## Б. Протяженные поражения

В исследованиях, проведенных с использованием СЛП 1-го поколения, была продемонстрирована более высокая частота рестеноза и тромбоза при имплантации длинного СЛП в сравнении с коротким [41, 42]. Согласно субанализу РКИ TARGET-FFR, пациенты, перенесшие ЧКВ по поводу фокального значимого поражения коронарных артерий, имели более благоприятный прогноз в отношении клиники стенокардии, ограничений физической нагрузки и качества жизни в сравнении с пациентами, подвергнутыми ЧКВ по поводу диффузного поражения [43]. Стоит отметить, что диффузное поражение определялось при помощи индекса pullback pressure gradient (PPG), средняя длина поражения составляла  $12,3 \pm 5,6$  мм и сильно не отличалась от длины фокального поражения ( $10,9 \pm 4,9$ ;  $p = 0,157$ ). Тем не менее, средняя протяженность стентированного участка при диффузном поражении была больше –  $47,69 \pm 22,61$  мм по сравнению с  $37,43 \pm 19,20$  при фокальном поражении ( $p = 0,015$ ). Одним из основных ограничений данного апостериорного анализа является короткий период наблюдения, составивший всего 3 мес.

Преимущества ВСВ-ассистированного ЧКВ при вмешательстве на длинных поражениях были продемонстрированы в исследовании IVUS-XPL, где оценивалось превосходство отдаленных результатов имплантации СЛП под контролем ВСУЗИ перед имплантацией СЛП под контролем только ангиографии у пациентов с протяженными поражениями коронарных артерий [3]. При наблюдении 1323 пациентов в течение 1 года частота МАСЕ была в 2 раза меньше в группе с применением ВСУЗИ, чем в группе ЧКВ под контролем только ангиографии (2,9 против 5,8%;  $p = 0,007$ ). Авторы указали, что разница была обусловлена снижением частоты реваскуляризации (2,5 против 5%;  $p = 0,02$ ), в то время как частота смерти от сердечных причин и инфаркта миокарда, связанного с целевым поражением, существенно не различалась. 5-летние результаты этого наблюдения лишь упрочили позицию ЧКВ под контролем ВСУЗИ в сравнении с ЧКВ под контролем ангиографии [44]. Частота наступления МАСЕ в группе ВСУЗИ в течение 5 лет наблюдения также оказалась практически в два раза ниже таковой в группе только ангиографии (5,6 против 10,7%;  $p = 0,001$ ). Различия между группами снова были обусловлены в первую очередь меньшей частотой реваскуляризации целевого поражения.

## Алгоритмы выполнения оптической когерентной томографии

Одним из важных элементов развития ОКТ-ассистированного ЧКВ является разработка и валидизация эффективных алгоритмов его выполнения. В частности, необходимо определить критерии успешного устранения дефектов имплантации стента, например, в виде количественных характеристик, достижение которых обеспечит наилучшие исходы вмешательства, а также оптимальную последовательность действий.

В настоящее время предпринимаются значительные усилия по разработке таких алгоритмов выполнения ЧКВ под контролем ОКТ [10, 45]. Но они пока не валидированы в проспективных клинических испытаниях и не учитывают возможные нежелательные эффекты самой оптимизации. Критерии, рассчитанные исключительно на основе связи между выявленными размерами дефектов и исходами в наблюдательных исследованиях, могут

быть завышенными, требующими «избыточной» оптимизации, приносящей больше вреда, чем пользы, или просто недостижимыми.

Например, в отношении критериев оптимальной коррекции недораскрытия стента сегодня существует два подхода: коррекция по абсолютным и относительным критериям. В исследовании CLI-OPCI II были рассчитаны средние абсолютные значения MSA, при которых улучшались долгосрочная патентность стентов и клинические исходы ЧКВ [46]. Но использование полученного среднего значения у всех пациентов независимо от степени стеноза, очевидно, существенно переоценивает раскрытие стента при малом диаметре сосуда и недооценивает – при крупном. В исследовании DOCTORS было дано определение недораскрытия как отношения MSA в стенте к площади референсного сегмента  $\leq 80\%$  [47].

Однако достижение такого параметра может оказаться затруднительным или даже невозможным в некоторых клинических ситуациях. Более того, исследование DOCTORS было выполнено на когорте пациентов с ОКС без подъема сегмента ST. В связи с этим встает вопрос о валидности применения их у пациентов со стабильной ИБС. Таким образом, в качестве критериев эффективной оптимизации требуется определить реально достижимые уровни, обеспечивающие оптимальное соотношение пользы / риска дополнительных манипуляций в зависимости от ряда условий.

При краевой диссекции риск раннего тромбоза – прямую коррелирует с ее глубиной, латеральным распространением и длиной. Анализ взаимосвязей данных параметров с исходами ЧКВ предполагает, что диссекции медиального слоя, занимающие более  $60^\circ$  окружности и имеющие длину более 2 мм, сопровождаются повышенным риском ранних тромбозов стента [19, 48]. В исследовании CLI-OPOSI II выявлено, что диссекция в области дистального края стента (но не проксимального) более 0,2 мм, по данным ОКТ, является независимым предиктором развития MACE [46]. Однако неизвестно, приводят ли имплантация дополнительного стента для закрытия такой диссекции к соответствующему снижению риска, или возможные осложнения дополнительного стентирования и / или неблагоприятные эффекты удвоения структур стента в просвете артерии частично / полностью нивелируют благоприятный эффект закрытия диссекции.

Одним из наиболее известных и популярных алгоритмов применения ОКТ, помогающих с принятием решения о тактике до и после ЧКВ, является MLD-MAX, предложенный Z.A. Ali и соавт. [15]. Первая часть MLD (M – morphology, L – length, D – diameter) представляет собой оценку анатомии и морфологии поражения для оптимизации определения посадочных зон и размеров стента. Вторая часть MAX (M – medial dissection, A – apposition, X – eXpansion) оценка возникших дефектов стентирования и определение стратегии оптимизации выявленных дефектов. Этот алгоритм, тем не менее, основан на ранее полученных данных о прогностической значимости выявляемых при ОКТ дефектов стентирования, представленных выше, а следовательно, он страдает от всех вышеизложенных недостатков.

### Ограничения оптической когерентной томографии

Одним из технических ограничений ОКТ является увеличение риска развития контраст-индукционной нефропатии (КИН) ввиду увеличения объема используе-

мого контрастного вещества. Это может иметь серьезные последствия у пациентов с хронической болезнью почек [9, 10, 18, 49]. Однако в тех же исследованиях не было отмечено значимого увеличения частоты КИН. Для снижения риска КИН было предложено несколько альтернатив контрастному веществу. Первой из них был низкомолекулярный дексстран (НМД). НМД использовался вместо контраста для вымывания крови и создания в коронарной артерии прозрачной среды в области исследования ОКТ и продемонстрировал схожие количественные и качественные параметры оценки изображения [50, 51]. Параметры скорости и объема вводимого НМД не отличаются от таких при использовании контрастного вещества [50]. K. Kurogi и соавт. оценивали влияние применения ОКТ-ассистированного ЧКВ с НМД на функцию почек и продемонстрировали отсутствие негативного эффекта при достижении схожих краткосрочных и долгосрочных клинических исходов в сравнении в ВСУЗИ-ассистированным ЧКВ [52].

Второй альтернативой является гепаринизированный физиологический раствор, продемонстрировавший техническую применимость для выполнения внутрисосудистой ОКТ. При этом диагностическая ценность исследования была схожа с ОКТ с применением контрастного вещества [53, 54]. В большинстве исследований для интракоронарного введения гепаринизированного физиологического раствора используются шприцы с замком Люэра объемом 20–30 мл, а объем вводимого раствора – 15 мл для правой коронарной артерии и 20 мл – для левой [53, 55].

Одной из альтернатив жидким растворам может послужить углекислый газ ( $\text{CO}_2$ ). Его преимуществами являются полное замещение крови и быстрое растворение и выведение из организма через легкие. Недавний клинический случай, продемонстрированный М.Г. Тарасовым и соавт., показал его эффективность при применении ОКТ в почечных артериях [54]. Важным ограничением  $\text{CO}_2$  являются потенциальные аритмогенность и нейротоксичность. В связи с этим применение этого газа для контрастирования коронарных сосудов и аорты может нести дополнительные риски. Использование газообразных смесей в указанных условиях требует дополнительных исследований, в первую очередь, для оценки безопасности.

Ввиду физических свойств ближнего инфракрасного света излучение при ОКТ не проникает за плотные фиброзированные ткани и богатые липидами бляшки. Определение же истинного размера сосуда по НЭМ в месте такого поражения может оказаться затруднительным. Также в своих исследованиях S. Glagov и соавт. показали, что увеличение площади поперечного сечения бляшки сопровождается увеличением площади внутри НЭМ, т. е. компенсаторным расширением сосуда, поэтому при площади бляшки более 40% от площади внутри НЭМ последняя перестает быть надежным ориентиром истинного размера сосуда в месте поражения [56]. Эти результаты позже были подтверждены клиническими исследованиями с применением ВСУЗИ [57].

Существенным ограничением ОКТ остается техническая сложность визуализации аорто-уступевого поражения. Связано это, в первую очередь, с трудностями вытеснения крови из просвета артерии в области устья контрастом / иным промывочным веществом. Также материал проводникового катетера, находящегося в устье, не пропускает излучение в ближнем инфракрасном спек-

tre [58]. Несмотря на попытки компенсировать указанное ограничение [59], данная проблема остается нерешенной и требует принципиально новых подходов.

Другим важным ограничением широкого применения ОКТ, требующим упоминания, является значительное увеличение стоимости ЧКВ при выполнении ОКТ. Так, в исследовании FORZA было продемонстрировано, что суммарные затраты на ведение пациентов в группе ОКТ оказались значимо выше в сравнении с ФРК ( $p = 0,001$ ) [7].

### Направления дальнейших исследований

Широкое внедрение ОКТ в клиническую практику ЧКВ способно значительно улучшить техническое выполнение стентирования и в итоге улучшить исходы вмешательства в острый и отдаленный периоды. Поэтому сегодня одним из важных научных направлений является получение доказательств эффективности ОКТ по клиническим исходам в больших РКИ как в целом, так и для групп с потенциально более высокой пользой применения ОКТ. ILLUMIEN IV – практически единственное законченное исследование такого рода. Но при анализе более 2,5 тыс. человек авторам не удалось продемонстрировать значимые отличия в отношении клинических исходов между группами пациентов в течение 2 лет наблюдения [15]. Очевидным ограничением данного исследования является относительно короткий срок наблюдения – 2 года, из-за чего накопленные частоты событий оказались небольшими: 7,4% в группе ОКТ-ассистированного ЧКВ против 8,2% в группе только ангиографии. В результате полученное соотношение исходов в пользу ОКТ оказалось статистически незначимым. К примеру, для получения до-

створных различий в отношении частоты наступления первичной конечной точки (сочетание смерти, инфаркта миокарда или реваскуляризации целевого сосуда) между ЧКВ и коронарным шунтированием для исследования BEST потребовалось 5 лет наблюдения [60].

Согласно данным сайта clinicaltrials.gov, в настоящее время закончился набор пациентов в исследование OCTOBER (NCT 03171311). В этом исследовании, запланированном с целью сравнения 2-летних клинических исходов после ЧКВ под контролем ОКТ и ЧКВ под контролем ангиографии у пациентов со сложным бифуркационным стентированием, первичной конечной точкой является частота развития MACCE (сочетание сердечной смерти, ОИМ, ассоциированного с целевым поражением, повторная реваскуляризация целевого поражения, вызванная ишемией миокарда). К вторичным конечным точкам, в отличие от ILLUMIEN IV, относятся оценка сочетания сердечной смерти, ОИМ целевого бифуркационного поражения, повторная реваскуляризация целевого поражения и ряда других параметров на протяжении до 60 мес.

Кроме того, важной задачей остается определение оптимальных критериев ОКТ-контролируемой оптимизации стентирования. Существующие критерии оптимизации были выбраны в основном по результатам наблюдательных исследований. Остается актуальным и целесообразным определение критериев эффективной оптимизации стентирования по фактическим исходам таких вмешательств, например, на основе анализа количественной связи интраоперационных результатов оптимизации с последующей клинической эффективностью вмешательства.

### Литература / References

- Алекян Б.Г., Григорьян А.М., Ставров А.В., Карапетян Н.Г. Рентгенэндоваскулярная диагностика и лечение заболеваний сердца и сосудов в Российской Федерации – 2021 год. Эндоваскулярная хирургия. 2022;9(спец. вып.):S5–S254.  
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.
- Witzelbichler B., Maehara A., Weisz G., Neumann F.-J., Rinaldi M.J., Metzger D.C. et al. Relationship between intravascular ultrasound guidance and clinical outcomes after drug-eluting stents: the Assessment of Dual Antiplatelet Therapy With Drug-Eluting Stents (ADAPT-DES) Study. *Circulation*. 2014;129(4):463–470. DOI: 10.1161/CIRCULATION-AHA.113.003942.
- Hong S.-J., Kim B.-K., Shin D.-H., Nam C.-M., Kim J.-S., Ko Y.-G. et al. Effect of intravascular ultrasound-guided vs angiography-guided everolimus-eluting stent implantation: the IVUS-XPL Randomized Clinical Trial. *JAMA*. 2015;314:2155–2163. DOI: 10.1001/jama.2015.15454.
- Elgendi I.Y., Mahmoud A.N., Elgendi A.Y., Bavry A.A. Outcomes with intravascular ultrasound-guided stent implantation: a meta-analysis of randomized trials in the era of drug-eluting stents. *Circ. Cardiovasc. Interv.* 2016;9(4):e003700. DOI: 10.1161/CIRCINTERVENTIONS.116.003700.
- Buccheri S., Franchina G., Romano S., Puglisi S., Venuti G., D'Arrigo P. et al. Clinical outcomes following intravascular imaging-guided versus coronary angiography-guided percutaneous coronary intervention with stent implantation: a systematic review and Bayesian network meta-analysis of 31 studies and 17,882 patients. *JACC Cardiovasc. Interv.* 2017;10(24):2488–2498. DOI: 10.1016/j.jcin.2017.08.051.
- Jones D.A., Rathod K.S., Koganti S., Hamshere S., Astroulakis Z., Lim P. et al. Angiography alone versus angiography plus optical coherence tomography to guide percutaneous coronary intervention: Outcomes from the Pan-London PCI Cohort. *JACC Cardiovasc. Interv.* 2018;11(14):1313–1321. DOI: 10.1016/j.jcin.2018.01.274.
- Burzotta F., Leone A.M., Aurigemma C., Zambrano A., Zimbardo G., Arrioti M. et al. Fractional flow reserve or optical coherence tomography to guide management of angiographically intermediate coronary stenosis: a single-center trial. *J. Am. Coll. Cardiol. Intv.* 2020;13(1):49–58. DOI: 10.1016/j.jcin.2019.09.034.
- Prati F., Di Vito L., Biondi-Zoccali G., Occhipinti M., La Manna A., Tamburino C. Angiography alone versus angiography plus optical coherence tomography to guide decision-making during percutaneous coronary intervention: the Centro per la Lotta contro l'Infarto-Optimisation of Percutaneous Coronary Intervention (CLI-OPCI) study. *EuroIntervention*. 2012;8(7):823–829. DOI: 10.4244/EIJV817A125.
- Ali Z.A., Maehara A., Génereux P., Shlofmitz R.A., Fabbrocchi F., Nazif T.M. et al.; ILLUMIEN III: OPTIMIZE PCI Investigators. Optical coherence tomography compared with intravascular ultrasound and with angiography to guide coronary stent implantation (ILLUMIEN III: OPTIMIZE PCI): a randomised controlled trial. *Lancet*. 2016;388(10060):2618–2628. DOI: 10.1016/S0140-6736(16)31922-5.
- Johnson T.W., Räber L., di Mario C., Bourantas C., Jia H., Mattesini A. et al. Clinical use of intracoronary imaging. Part 2: Acute coronary syndromes, ambiguous coronary angiography findings, and guiding interventional decision-making: an expert consensus document of the European Association of Percutaneous Cardiovascular Interventions. *Eur. Heart J.* 2019;40(31):2566–2584. DOI: 10.1093/eurheartj/ehz332.
- Sharma S.P., Rijal J., Dahal K. Optical coherence tomography guidance in percutaneous coronary intervention: a meta-analysis of randomized controlled trials. *Cardiovasc. Interv. Ther.* 2019;34(2):113–121. DOI: 10.1007/s12928-018-0529-6.
- Siddiqi T.J., Khan M.S., Karimi Galougahi K., Shlofmitz E., Moses J.W., Rao S. et al. Optical coherence tomography versus angiography and intravascular ultrasound to guide coronary stent implantation: A systematic review and meta-analysis. *Catheter Cardiovasc. Interv.* 2022;100(Suppl. 1):S44–S56. DOI: 10.1002/ccd.30416.
- Jones D.A., Rathod K.S., Koganti S., Hamshere S., Astroulakis Z., Lim P. et al. Angiography alone versus angiography plus optical coherence tomography to guide percutaneous coronary intervention: Outcomes from the Pan-London PCI Cohort. *JACC Cardiovasc. Interv.* 2018;11(14):1313–1321. DOI: 10.1016/j.jcin.2018.01.274.
- Wulandari A.P., Pintanirungrum Y., Adheriyani R. Outcomes of optical coherence tomography guided percutaneous coronary intervention against angiography guided in patients with coronary artery disease: A systematic

- ic reviews and meta-analyses. *Indian Heart J.* 2023;75(2):108–114. DOI: 10.1016/j.ihj.2023.01.009.
15. Ali Z.A., Landmesser U., Maehara A., Matsumura M., Shlofmitz R.A., Guagliumi G. et al.; ILUMIEN IV Investigators. Optical coherence tomography-guided versus angiography-guided PCI. *N. Engl. J. Med.* 2023;389(16):1466–1476. DOI: 10.1056/NEJMoa2305861.
  16. Lawton J.S., Tamis-Holland J.E., Bangalore S., Bates E.R., Beckie T.M., Bischoff J.M. et al. 2021 ACC/AHA/SCAI Guideline for coronary artery revascularization: Executive summary: A report of the American College of Cardiology/American Heart Association Joint Committee on Clinical Practice Guidelines. *Circulation.* 2022;145(3):e4–e17. DOI: 10.1161/CIR.0000000000001039.
  17. Kim I.C., Yoon H.J., Shin E.S., Kim M.S., Park J., Cho Y.K. et al. Usefulness of frequency domain optical coherence tomography compared with intravascular ultrasound as a guidance for percutaneous coronary intervention. *J. Interv. Cardiol.* 2016;29(2):216–224. DOI: 10.1111/jic.12276.
  18. Kubo T., Shinke T., Okamura T., Hibi K., Nakazawa G., Morino Y. et al. 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;38(42):3139–3147. DOI: 10.1093/euroheartj/exh351.
  19. Choi S.-Y., Witzenbichler B., Maehara A., Lansky A.J., Guagliumi G., Brodie B. et al. Intravascular ultrasound findings of early stent thrombosis after primary percutaneous intervention in acute myocardial infarction: a Harmonizing Outcomes with Revascularization and Stents in Acute Myocardial Infarction (HORIZONS-AMI) substudy. *Circ. Cardiovasc. Interv.* 2011;4:239–247. DOI: 10.1161/CIRCINTERVENTIONS.110.959791.
  20. Räber L., Mintz G.S., Koskinas K.C., Johnson T.W., Holm N.R., Onuma Y. et al.; ESC Scientific Document Group. Clinical use of intracoronary imaging. Part 1: Guidance and optimization of coronary interventions. An expert consensus document of the European Association of Percutaneous Cardiovascular Interventions. *Eur. Heart J.* 2018;39(35):3281–3300. DOI: 10.1093/euroheartj/ehy285.
  21. Стабильная ишемическая болезнь сердца. Клинические рекомендации 2020. *Российский кардиологический журнал.* 2020;25(11):4076. Russian Society of Cardiology (RSC). 2020 Clinical practice guidelines for Stable coronary artery disease. *Russian Journal of Cardiology.* 2020;25(11):4076. (In Russ.). DOI: 10.15829/29/1560-4071-2020-4076.
  22. Neumann F.J., Sousa-Uva M., Ahlsson A., Alfonso F., Banning A.P., Benedetto U. et al.; ESC Scientific Document Group. 2018 ESC/EACTS Guidelines on myocardial revascularization. *Eur. Heart J.* 2019;40(2):87–165. DOI: 10.1093/euroheartj/ehy394.
  23. Kirtane A.J., Doshi D., Leon M.B., Lasala J.M., Ohman E.M., O'Neill W.W. et al. Treatment of higher-risk patients with an indication for revascularization: evolution within the field of contemporary percutaneous coronary intervention. *Circulation.* 2016;134:422–431. DOI: 10.1161/CIRCULATIONAHA.116.022061.
  24. Riley R.F., Henry T.D., Mahmud E., Kirtane A.J., Brilakis E.S., Goyal A. et al. SCAI position statement on optimal percutaneous coronary interventional therapy for complex coronary artery disease. *Catheter Cardiovasc. Interv.* 2020;96(2):346–362. DOI: 10.1002/ccd.28994.
  25. Louvard Y., Thomas M., Dzavik V., Hildick-Smith D., Galassi A.R., Pan M. et al. Classification of coronary artery bifurcation lesions and treatments: time for a consensus! *Catheter Cardiovasc. Interv.* 2008;71(2):175–183. DOI: 10.1002/ccd.21314.
  26. Meier B., Gruentzig A.R., King S.B. 3rd, Douglas J.S.Jr., Hollman J., Ischinger T. et al. Risk of side branch occlusion during coronary angioplasty. *Am. J. Cardiol.* 1984;53(1):10–14. DOI: 10.1016/0002-9149(84)90675-1.
  27. Collins N., Seidelin P.H., Daly P., Ivanov J., Barolet A., Mackie K. et al. Long-term outcomes after percutaneous coronary intervention of bifurcation narrowings. *Am. J. Cardiol.* 2008;102(4):404–410. DOI: 10.1016/j.amjcard.2008.03.075.
  28. Al Suwaidi J., Berger P.B., Rihal C.S., Garratt K.N., Bell M.R., Ting H.H. et al. Immediate and long-term outcome of intracoronary stent implantation for true bifurcation lesions. *J. Am. Coll. Cardiol.* 2000;35(4):929–936. DOI: 10.1016/S0735-1097(99)00648-8.
  29. Steigen T.K., Maeng M., Wiseth R., Erglis A., Kumsars I., Narbute I. et al. Nordic PCI Study Group. Randomized study on simple versus complex stenting of coronary artery bifurcation lesions: the Nordic bifurcation study. *Circulation.* 2006;114(18):1955–1961. DOI: 10.1161/CIRCULATIONAHA.106.664920.
  30. Burzotta F., Annone U., Paraggio L., D'Ascenzo F., Biondi-Zoccal G., Aurigemma C. et al. Clinical outcome after percutaneous coronary intervention with drug-eluting stent in bifurcation and nonbifurcation lesions: a meta-analysis of 23 981 patients. *Coron. Artery Dis.* 2020;31(5):438–445. DOI: 10.1097/MCA.0000000000000847.
  31. Koppara T., Cheng Q., Yahagi K., Mori H., Sanchez O.D., Feygin J. et al. Thrombogenicity and early vascular healing response in metallic biodegradable polymer-based and fully bioabsorbable drug-eluting stents. *Circ. Cardiovasc. Interv.* 2015;8(6):e002427. DOI: 10.1161/CIRCINTERVENTIONS.115.002427.
  32. Lamberti G., Soroush F., Smith A., Kiani M.F., Prabhakar Pandian B., Pant K. Adhesion patterns in the microvasculature are dependent on bifurcation angle. *Microvasc. Res.* 2015;99:19–25. DOI: 10.1016/j.mvr.2015.02.004.
  33. Yazdani S.K., Nakano M., Otsuka F., Kolodgie F.D., Virmani R. Atherosclerosis and coronary bifurcations: before and after stenting. *EuroIntervention.* 2010;6(Suppl. J):J24–J30. DOI: 10.4244/EIJV6SUPJA5.
  34. Williams A.R., Koo B.K., Gundert T.J., Fitzgerald P.J., LaDisa J.F.Jr. Local hemodynamic changes caused by main branch stent implantation and subsequent virtual side branch balloon angioplasty in a representative coronary bifurcation. *J. Appl. Physiol.* 2010;109(2):532–540. DOI: 10.1152/japplphysiol.00086.2010.
  35. Zhang J.J., Ye F., Xu K., Kan J., Tao L., Santoso T. et al. Multicentre, randomized comparison of two-stent and provisional stenting techniques in patients with complex coronary bifurcation lesions: the DEFINITION II trial. *Eur. Heart J.* 2020;41:2523–2536. DOI: 10.1093/euroheartj/ehaa543.
  36. Wang R., Ding Y., Yang J., Wang K., Gao W., Fang Z. et al. Stenting techniques for coronary bifurcation disease: a systematic review and network meta-analysis demonstrates superiority of double-kissing crush in complex lesions. *Clin. Res. Cardiol.* 2022;111(7):761–775. DOI: 10.1007/s00392-021-01979-9.
  37. Crimi G., Mandurino-Mirizzi A., Grittini V., Scotti V., Strozzi C., de Silvestri A. et al. Percutaneous coronary intervention techniques for bifurcation disease: Network meta-analysis reveals superiority of double-kissing crush. *Can. J. Cardiol.* 2020;36(6):906–914. DOI: 10.1016/j.cjca.2019.09.002.
  38. Fujimura T., Okamura T., Tateishi H., Nakamura T., Yamada J., Oda T. et al. Serial changes in the side-branch ostial area after main-vessel stenting with kissing balloon inflation for coronary bifurcation lesions, assessed by 3D optical coherence tomography. *Eur. Heart J. Cardiovasc. Imaging.* 2018;19:1117–1125. DOI: 10.1093/ehjci/jex213.
  39. Longobardo L., Mattesini A., Valente S., Di Mario C. OCT-guided percutaneous coronary intervention in bifurcation lesions. *Interv. Cardiol.* 2019;14(1):5–9. DOI: 10.15420/icr.2018.17.2.
  40. Alegria-Barreiro E., Foin N., Chan P.H., Syrseloudis D., Lindsay A.C., Dimopolous K. et al. Optical coherence tomography for guidance of distal cell recrossing in bifurcation stenting: choosing the right cell matters. *EuroIntervention.* 2012;8:205–13. DOI: 10.4244/EIJV812A34.
  41. Daemen J., Wenaweser P., Tsuchida K., Abrecht L., Vaina S., Morger C.. Early and late coronary stent thrombosis of sirolimus-eluting and paclitaxel-eluting stents in routine clinical practice: data from a large two-institutional cohort study. *Lancet.* 2007;369(9562):667–678. DOI: 10.1016/S0140-6736(07)60314-6.
  42. Kastrati A., Dibra A., Mehilli J., Mayer S., Pinieck S., Pache J. et al. Predictive factors of restenosis after coronary implantation of sirolimus- or paclitaxel-eluting stents. *Circulation.* 2006;113(19):2293–2300. DOI: 10.1161/CIRCULATIONAHA.105.601823.
  43. Collet C., Collison D., Mizukami T., McCartney P., Sonck J., Ford T. et al. Differential improvement in angina and health-related quality of life after PCI in focal and diffuse coronary artery disease. *JACC Cardiovasc. Interv.* 2022;15(24):2506–2518. DOI: 10.1016/j.jcin.2022.09.048.
  44. Hong S.J., Mintz G.S., Ahn C.M., Kim J.S., Kim B.K., Ko Y.G. et al.; IVUS-XPL Investigators. Effect of intravascular ultrasound-guided drug-eluting stent implantation: 5-year follow-up of the IVUS-XPL randomized trial. *JACC Cardiovasc. Interv.* 2020;13(1):62–71. DOI: 10.1016/j.jcin.2019.09.033.
  45. Суслов И.В., Пекарский С.Е., Тарасова М.Г., Баев А.Е., Винтизен-ко С.И. Стентирование пациента с протяженным стенозом коронарной артерии под контролем оптической когерентной томографии (клинический случай). *Сибирский журнал клинической и экспериментальной медицины.* 2023;38(2):286–292.  
Suslov I.V., Pekarskiy S.E., Tarasov M.G., Baev A.E., Vintizenko S.I. Stenting of a patient with long coronary artery lesion under the control of optical coherence tomography (clinical case). *Siberian Journal of Clinical and Experimental Medicine.* 2023;38(2):286–292. (In Russ.). DOI: 10.29001/2073-8552-2023-38-2-286-292.
  46. Prati F., Romagnoli E., Burzotta F., Limbruno U., Gatto L., La Manna A. et al. Clinical impact of OCT findings during PCI: The CLI-OPCI II study. *JACC Cardiovasc. Imaging.* 2015;8(11):1297–1305. DOI: 10.1016/j.jcmg.2015.08.013.
  47. Meneveau N., Souteyrand G., Motreff P., Caussin C., Amabile N., Ohlmann P. et al. Optical coherence tomography to optimize results of percutaneous coronary intervention in patients with non-ST-elevation acute coronary syndrome: Results of the multicenter, randomized DOCTORS study (Does Optical Coherence Tomography Optimize Results of Stent-

- ing). *Circulation*. 2016;134(13):906–917. DOI: 10.1161/CIRCULATION-AHA.116.024393.
48. Cheneau E., Leborgne L., Mintz G.S., Kotani J., Pichard A.D., Satler L.F. et al. Predictors of subacute stent thrombosis: results of a systematic intravascular ultrasound study. *Circulation*. 2003;108(1):43–47. DOI: 10.1161/01.CIR.0000078636.71728.40.
  49. Wijns W., Shite J., Jones M.R., Lee S.W., Price M.J., Fabbrocini F. et al. Optical coherence tomography imaging during percutaneous coronary intervention impacts physician decision-making: ILUMIEN I study. *Eur. Heart J.* 2015;36(14):3346–3355. DOI: 10.1093/euroheartj/ehv367.
  50. Ozaki Y., Kitabata H., Tsujioka H., Hosokawa S., Kashiwagi M., Ishibashi K. et al. Comparison of contrast media and low-molecular-weight dextran for frequency-domain optical coherence tomography. *Circul. J.* 2012;76(4):922–927. DOI: 10.1253/circj.CJ-11-1122.
  51. Vijayvergiya R., Ratheesh K.J., Gupta A. Low molecular weight dextran: an alternative to radiographic contrast agent for optical coherence tomography imaging. *IHJ. Cardiovasc. Case Rep.* 2017;1:10–11. DOI: 10.1016/j.ihjccr.2017.10.002.
  52. Kurogi K., Ishii M., Sakamoto K., Komaki S., Kusaka H., Yamamoto N. et al. Optical coherence tomography-guided percutaneous coronary intervention with low-molecular-weight dextran – effect on renal function. *Circ. J.* 2020;84(6):917–925. DOI: 10.1253/circj.CJ-20-0093.
  53. Mahesh N.K., Gupta A., Barward P., Vijayvergiya R., Sharma P., Mahesh A. Study of saline optical coherence tomography-guided percutaneous coronary intervention (SOCT-PCI Study). *Indian Heart J.* 2020;72(4):239–243. DOI: 10.1016/j.ihj.2020.03.013.
  54. Gore A.K., Shlofmitz E., Karimi Galougahi K., Petrossian G., Jeremias A., Sosa F.A. et al. Prospective comparison between saline and radio-contrast for intracoronary imaging with optical coherence tomography. *JACC Cardiovasc. Imaging*. 2020;13(9):2060–2062. DOI: 10.1016/j.jcmg.2020.04.018.
  55. Gupta A., Chhikara S., Vijayvergiya R., Seth A., Mahesh N.K., Akasaka T. et al. Saline as an alternative to radio-contrast for optical coherence tomography-guided percutaneous coronary intervention: A prospective comparison. *Cardiovasc. Revasc. Med.* 2022;34:86–91. DOI: 10.1016/j.carrev.2021.01.010.
  56. Тарасов М.Г., Пекарский С.Е., Баев А.Е., Гергерт Е.С. Применение CO<sub>2</sub> для создания оптического окна при проведении внутрисосудистой оптической когерентной томографии у пациента с аллергической реакцией на йодсодержащий контраст. *Сибирский журнал клинической и экспериментальной медицины*. 2022;37(2):129–133.
  57. Tarasov M.G., Pekarskiy S.E., Baev A.E., Gerger E.S. The use of CO<sub>2</sub> to create an optical window during intravascular optical coherence tomography in a patient with an allergic reaction to iodine contrast. *Siberian Journal of Clinical and Experimental Medicine*. 2022;37(2):129–133. (In Russ.). DOI: 10.29001/2073-8552-2022-37-2-129-133.
  58. Glagov S., Weisenberg E., Zarins C.K., Stankunavicius R., Kolettis G.J. Compensatory enlargement of human atherosclerotic coronary arteries. *N. Engl. J. Med.* 1987;316(22):1371–1375. DOI: 10.1056/NEJM198705283162204.
  59. Mintz G.S., Kent K.M., Pichard A.D., Popma J.J., Satler L.F., Leon M.B. Intravascular ultrasound insights into mechanisms of stenosis formation and restenosis. *Cardiol. Clin.* 1997;15:17–29. DOI: 10.1016/s0733-8651(05)70315-5.
  60. Maehara A., Matsumura M., Ali Z.A., Mintz G.S., Stone G.W. IVUS-guided versus OCT-guided coronary stent implantation: A critical appraisal. *JACC Cardiovasc. Imaging*. 2017;10(12):1487–1503. DOI: 10.1016/j.jcmg.2017.09.008.
  61. Kurogi K., Ishii M., Sakamoto K., Tsujita K. Observing an aorto-ostial lesion using TELESCOPE® in optical coherence tomography-guided percutaneous coronary intervention. *EuroIntervention*. 2020. URL: <https://www.pronline.com/Cases-resources-images/Images-interventional-cardiology/EuroIntervention-images/Aorto-ostial-lesion-observation-by-OCT> (26.01.2024).

## Информация о вкладе авторов

Суслов И.В. участвовал в разработке концепции статьи, собрал первичный литературный материал, участвовал в написании и редактировании текста, подготовил окончательную версию текста.

Пекарский С.Е. участвовал в разработке концепции статьи, написании и редактировании текста, сборе дополнительного научного материала, участвовал в подготовке окончательной версии текста.

Баев А.Е., Тарасов М.Г., Гергерт Е.С., Громовой Р.М., Богданов Ю.И., Султанов С.М., Горюховский А.А. участвовали в разработке структуры статьи, написании и редактировании текста.

## Сведения об авторах

**Суслов Иван Владимирович**, младший научный сотрудник, лаборатория рентгенэндоваскулярной хирургии, НИИ кардиологии Томского НИМЦ, Томск, <https://orcid.org/0000-0002-0288-4191>.

E-mail: [straiter.acer@gmail.com](mailto:straiter.acer@gmail.com).

**Пекарский Станислав Евгеньевич**, д-р мед. наук, ведущий научный сотрудник, лаборатория рентгенэндоваскулярной хирургии, НИИ кардиологии Томского НИМЦ, Томск, <https://orcid.org/0000-0002-4008-4021>.

E-mail: [pekarSKI@cardio-tomsk.ru](mailto:pekarSKI@cardio-tomsk.ru).

**Баев Андрей Евгеньевич**, канд. мед. наук, заведующий лабораторией рентгенэндоваскулярной хирургии, НИИ кардиологии Томского НИМЦ, Томск, <https://orcid.org/0000-0002-8163-1618>.

E-mail: [stent111@mail.ru](mailto:stent111@mail.ru).

**Тарасов Михаил Георгиевич**, канд. мед. наук, младший научный сотрудник, лаборатория рентгенэндоваскулярной хирургии, НИИ кардиологии Томского НИМЦ, Томск, <https://orcid.org/0000-0001-5263-9488>.

E-mail: [m3107@rambler.ru](mailto:m3107@rambler.ru).

**Гергерт Егор Сергеевич**, младший научный сотрудник, лаборатория рентгенэндоваскулярной хирургии, НИИ кардиологии Томского НИМЦ, Томск.

E-mail: [gergert-egor88@mail.ru](mailto:gergert-egor88@mail.ru).

**Громовой Роман Михайлович**, младший научный сотрудник, лаборатория рентгенэндоваскулярной хирургии, НИИ кардиологии Томского НИМЦ, Томск, <https://orcid.org/0000-0001-9004-4768>.

E-mail: [roman.gromovoy@mail.ru](mailto:roman.gromovoy@mail.ru).

## Information on author contributions

Suslov I.V. contributed to developing the article concept, collected primary literary material, participated in writing and editing the text, prepared the final version of the manuscript for publication.

Pekarsky S.E. contributed to developing the article concept, participated in writing and editing the text, collected an additional literary material, participated in the preparation of the final version of the manuscript.

Baev A.E., Tarasov M.G., Gerger E.S., Gromovoy R.M., Bogdanov Yu.I., Sultanov S.M., Gorokhovsky A.A. contributed to developing the article structure, writing and editing the text.

## Information about the authors

**Ivan V. Suslov**, Junior Research Scientist, Laboratory of Endovascular Surgery, Cardiology Research Institute, Tomsk NRMC, <https://orcid.org/0000-0002-0288-4191>.

E-mail: [straiter.acer@gmail.com](mailto:straiter.acer@gmail.com).

**Stanislav E. Pekarsky**, Dr. Sci. (Med.), Lead Research Scientist, Laboratory of Endovascular Surgery, Cardiology Research Institute, Tomsk NRMC, <https://orcid.org/0000-0002-4008-4021>.

E-mail: [pekarSKI@cardio-tomsk.ru](mailto:pekarSKI@cardio-tomsk.ru).

**Andrey E. Baev**, Cand. Sci. (Med.), Head of the Laboratory of Endovascular Surgery, Cardiology Research Institute, Tomsk NRMC, <https://orcid.org/0000-0002-8163-1618>.

E-mail: [stent111@mail.ru](mailto:stent111@mail.ru).

**Mikhail G. Tarasov**, Cand. Sci. (Med.), Junior Research Scientist, Laboratory of Endovascular Surgery, Cardiology Research Institute, Tomsk NRMC, <https://orcid.org/0000-0001-5263-9488>.

E-mail: [m3107@rambler.ru](mailto:m3107@rambler.ru).

**Egor S. Gergert**, Junior Research Scintist, Laboratory of Endovascular Surgery, Cardiology Research Institute, Tomsk NRMC.

E-mail: [gergert-egor88@mail.ru](mailto:gergert-egor88@mail.ru).

**Roman M. Gromovoy**, Junior Research Scientist, Laboratory of Endovascular Surgery, Cardiology Research Institute, Tomsk NRMC, <https://orcid.org/0000-0001-9004-4768>.

E-mail: [roman.gromovoy@mail.ru](mailto:roman.gromovoy@mail.ru).



**Богданов Юрий Игоревич**, канд. мед. наук, младший научный сотрудник, лаборатория рентгенодоваскулярной хирургии, НИИ кардиологии Томского НИМЦ, Томск, <https://orcid.org/0000-0003-2939-6291>.

E-mail: [yuri-bogdanov@mail.ru](mailto:yuri-bogdanov@mail.ru).

**Султанов Сыргак Мавланович**, младший научный сотрудник, лаборатория рентгенодоваскулярной хирургии, НИИ кардиологии Томского НИМЦ, Томск, <https://orcid.org/0000-0002-1569-2914>.

E-mail: [omokb\\_onik@mail.ru](mailto:omokb_onik@mail.ru).

Гороховский Алексей Александрович, лаборант-исследователь, лаборатория рентгенодоваскулярной хирургии, НИИ кардиологии Томского НИМЦ, Томск, <https://orcid.org/0000-0003-3909-9282>.

E-mail: [alegorohovs@yandex.ru](mailto:alegorohovs@yandex.ru).

**Суслов Иван Владимирович**, e-mail: [straiker.acer@gmail.com](mailto:straiker.acer@gmail.com).

**Yury I. Bogdanov**, Cand. Sci. (Med.), Research Scientist, Laboratory of Endovascular Surgery, Cardiology Research Institute, Tomsk NRMC, <https://orcid.org/0000-0003-2939-6291>.

E-mail: [yuri-bogdanov@mail.ru](mailto:yuri-bogdanov@mail.ru).

**Syrgak M Sultanov**, Junior Research Scientist, Laboratory of Endovascular Surgery, Cardiology Research Institute, Tomsk NRMC, <https://orcid.org/0000-0002-1569-2914>.

E-mail: [omokb\\_onik@mail.ru](mailto:omokb_onik@mail.ru).

**Alexei A. Gorokhovsky**, Laboratory Assistant, Laboratory of Endovascular Surgery, Cardiology Research Institute, Tomsk NRMC, <https://orcid.org/0000-0003-3909-9282>.

E-mail: [alegorohovs@yandex.ru](mailto:alegorohovs@yandex.ru).

**Ivan V. Suslov**, e-mail: [straiker.acer@gmail.com](mailto:straiker.acer@gmail.com).

Received 23.10.2023;  
review received 29.12.2023;  
accepted for publication 13.02.2024.

Поступила 23.10.2023;  
рецензия получена 29.12.2023;  
принята к публикации 13.02.2024.