

Б.Г. Алекян^{1, 2}, Н.Н. Мелешенко¹, В.В. Атрошенко¹¹Национальный медицинский исследовательский центр хирургии имени А.В. Вишневского, Москва, Российская Федерация²Российская медицинская академия непрерывного профессионального образования, Москва, Российская Федерация

Роль современных рентгенэндоваскулярных инновационных технологий в изменении стратегии лечения ишемической болезни сердца (обзор литературы)

С каждым годом возрастает количество выполняемых эндоваскулярных диагностических и лечебных процедур у пациентов с ишемической болезнью сердца (ИБС). На сегодняшний день эндоваскулярная реваскуляризация миокарда является основным методом лечения ИБС. Широкое применение данного метода стало возможным благодаря развитию и внедрению в клиническую практику современных стентов с лекарственным покрытием, а применение внутрисосудистой визуализации и функциональной оценки коронарного русла привело к оптимизации результатов чрескожного коронарного вмешательства (ЧКВ) и смене стратегии лечения пациентов ИБС. В данной обзорной статье представлены как исторические аспекты развития и внедрения этих технологий, так и современные исследования и метаанализы, отображающие результаты применения данных технологий у пациентов с многососудистым или «тяжелым» (диффузные, тандемные, протяженные, кальцинированные) поражением коронарных артерий.

Ключевые слова: стенты, оптическая когерентная томография (ОКТ), внутрисосудистое ультразвуковое исследование (ВСУЗИ), моментальный резерв кровотока (мРК), фракционный резерв кровотока (ФРК)

Для цитирования: Алекян Б.Г., Мелешенко Н.Н., Атрошенко В.В. Роль современных рентгенэндоваскулярных инновационных технологий в изменении стратегии лечения ишемической болезни сердца (обзор литературы). *Вестник РАМН*. 2025;80(2):121–130. doi: <https://doi.org/10.15690/vramn17976>

121

Введение

С момента проведения первой попытки прямой реваскуляризации миокарда прошло более 100 лет, когда в 1910 г. А. Carrel в экспериментах на собаках пытался выполнить первое аортокоронарное шунтирование с использованием анастомоза между нисходящей грудной

аортой и коронарной артерией с помощью сонной артерии [1]. Однако подобные операции не увенчались успехом ввиду развития у собак фибрилляции желудочков. В 1952 г. В.П. Демихов впервые в мире провел успешную экспериментальную операцию по реваскуляризации миокарда на собаках с использованием левой внутренней грудной артерии [2]. Далее 1964 г. советский хирург

B.G. Alekyan^{1, 2}, N.N. Meleshenko¹, V.V. Atroshenko¹¹National Medical Research Center for Surgery named after A.V. Vishnevsky, Moscow, Russian Federation.²Russian Medical Academy of Continuing Professional Education, Moscow, Russian Federation

The Role of Modern Endovascular Innovative Technologies in Changing the Treatment Strategy for Coronary Heart Disease (Literature Review)

Every year the number of endovascular diagnostic and therapeutic procedures performed in patients with coronary artery disease increases. Today, endovascular myocardial revascularization is the main method of treatment for coronary artery disease. The widespread use of this method became possible thanks to the development and introduction into clinical practice of modern drug-eluting stents, and the use of intravascular imaging and functional assessment of the coronary bed led to the optimization of PCI results and a change in the treatment strategy for patients with coronary artery disease. This review article presents both historical aspects of the development and implementation of these technologies, as well as modern studies and meta-analyses depicting the results of the use of these technologies in patients with multivessel or “severe” (diffuse, tandem, extended, calcified) lesions of the coronary arteries.

Keywords: stents, optical coherence tomography (OCT), intravascular ultrasound (IVUS), instantaneous wave-free ratio (iFR), fractional flow reserve (FFR)

For citation: Alekyan BG, Meleshenko NN, Atroshenko VV. The Role of Modern Endovascular Innovative Technologies in Changing the Treatment Strategy for Coronary Heart Disease (Literature Review). *Annals of the Russian Academy of Medical Sciences*. 2025;80(2):121–130. doi: <https://doi.org/10.15690/vramn17976>

В.И. Колесов выполнил первое в клинической практике успешное мамарокоронарное шунтирование на работающем сердце у человека [3]. В мае 1967 г. аргентинский хирург R. Favalago выполнил первую в мире успешную операцию аортокоронарного шунтирования с помощью большой подкожной вены в качестве сосудистого кондукта, а уже в октябре того же года представил результаты о 180 успешно проведенных операциях аортокоронарного шунтирования [4].

Началом развития рентгенэндоваскулярной хирургии принято считать 1970-е годы. В 1974 г. А. Gruntzig впервые создал и применил баллонный катетер для ангиопластики бедренной артерии. С тех пор баллонная технология стала часто используемым методом при лечении как периферических, так и венечных артерий. Открытие А. Gruntzig положило начало лечению больных с острым коронарным синдромом [5]. Позже, в 1986 г., U. Sigwart и J. Puel выполнили имплантацию металлических коронарных стентов, что стало началом новой эпохи прямой реваскуляризации миокарда [6]. В 1994 г. FDA одобрило применение голометаллических стентов Palmaz-Schatz™ и Gianturco-Roubin™ для лечения острой окклюзии коронарных артерий. Появилась надежда, что стенты могут быть абсолютной альтернативой операции аортокоронарного шунтирования. Однако уже через год после имплантации металлических стентов в 30–35% случаев отмечался рестеноз стента, требующий повторных вмешательств [7].

На сегодняшний день эндоваскулярная реваскуляризация миокарда является основным методом лечения как в Российской Федерации (РФ), так и во всем мире. Можно отметить увеличение количества выполняемых в России операций чрескожного коронарного вмешательства в 2022 г. до 298 671, в то время как операций коронарного шунтирования — до 29 642, что составляет 9,9% общего числа операций по прямой реваскуляризации миокарда в РФ [8].

Внедрение стентов с лекарственным покрытием

Идея покрытия голометаллических стентов специальным лекарством пришла из опыта лечения онкологических пациентов, где эффективно использовали такие препараты, как сиролimus и паклитаксель, которые тормозили рост онкологического процесса. Уже в 2004 г. были опубликованы данные исследования SIRIUS, в котором показано, что рестенозы в стентах с лекарственным покрытием сиролimus через 12 мес имели место только у 3,2% больных по сравнению с 35,4% в группе голометаллических стентов [9]. Было показано, что стенты с лекарственным покрытием значительно ограничивают рост неоинтимальной пролиферации ткани, что, в свою очередь, снижает частоту рестеноза в эндопротезах [10]. Так, российским аналогом стента с лекарственным покрытием сиролimus является стент Калипсо (Ангиолайн) [11].

На протяжении последних 20 лет дизайн стентов претерпел значительные изменения. Это касается платформы стента, полимера и доставляемого лекарственного средства. К одним из первых стентов с лекарственным покрытием, которые значительно повлияли на результаты стентирования, были Cypher (Cordis, Johnson & Johnson) и Taxus (Boston Scientific). На сегодняшний день широко распространено применение стентов с покрытием нового поколения, таких как Xience (Abbott) и PROMUS Element (Boston Scientific), где лекарственное покрытие представ-

лено как эверолимусом, так и зотаролимусом — Resolute Onyx (Medtronic). Высокофторированные полимеры данных стентов позволяют пролонгировать высвобождение эверолимуса до 1 мес, а зотаролимуса — до 6 мес [12]. Последующие исследования, такие как RESOLUTE и пр., доказали, что стенты с лекарственным покрытием из зотаролимуса не уступают по эффективности стентам с лекарственным покрытием из эверолимуса в течение 1 года [13].

Благодаря широкому внедрению в мировую клиническую практику стентов с лекарственным покрытием произошли существенные изменения в клинических рекомендациях по реваскуляризации миокарда Европейского общества кардиологов. Так, например, в 2010 г. ЧКВ при одностенном, а также при двухстенном поражении коронарных артерий с проксимальным поражением передней межжелудочковой ветви имели класс IIa, уровень доказательности — B, в то время как в рекомендациях 2014 г. при тех же поражениях — класс I, уровень доказательности — A и C соответственно. А в 2018 г. произошли существенные изменения в уровне доказательности даже при поражении ствола левой коронарной артерии и трехстенном поражении венечных артерий.

Зафиксированный полимер на поверхности стента обуславливает задержку заживления стенки артерии, связанную с длительным высвобождением лекарственного препарата. Это способствовало внедрению в клиническую практику стентов с лекарственными покрытиями с биодеgradable полимером, а также стентов без полимера [14]. К стентам с лекарственным покрытием и биодеgradable полимером относятся Synergy (Boston Scientific) и Orsiro (Biotronik). Стент Synergy состоит из биодеgradable полимера, выделяющего эверолимус, на платформе платина–хром [15]. Стент Orsiro (Biotronik) состоит из биодеgradable полимера, выделяющего сиролimus, имеет платформу кобальт–хром с ультратонкой стратой стента — 60 мкм, покрытой по окружности полимером поли-L-лактидом, который полностью разлагается в течение двух лет после имплантации.

Стенты без полимерного покрытия способствуют быстрому высвобождению лекарственного препарата. К данным стентам относятся BioFreedom (Biosensors) и Cre8 (CID-Alvimedica). Стент BioFreedom покрыт умиролимусом — высоколипофильным производным сиролимуса. Антипролиферативный препарат высвобождается из стента в течение 28 дней [16]. Стент Cre8 (CID-Alvimedica) также не содержит полимера, состоит из платформы кобальт–хром и покрыт амфилимусом, состоящим из сиролимуса и органической жирной кислоты. Большая часть препарата высвобождается в первые несколько дней имплантации с полным высвобождением через 90 дней [17].

Одними из самых современных с точки зрения архитектуры, а также процесса резорбции являются биорезорбируемые сосудистые каркасы. Гипотеза биорезорбируемого каркаса была разработана на основе предположения, что отсутствие металлического стента улучшит полное восстановление вазомоторики и облегчит расширение просвета [18]. В настоящее время каркас Absorb (Abbott) — самый известный биорезорбируемый каркас, состоящий из поли-L-лактида, покрытого аморфной матрицей из поли-D,L-лактида, которая высвобождает эверолимус [19]. Улучшение конструкции каркаса привело к созданию Absorb второго поколения, который впервые был одобрен в Европе в 2011 г., а пять лет спустя — в США [20]. Однако к настоящему времени полученные клини-

ческие результаты исследований о безопасности и эффективности биорезорбируемых каркасов не оправдали ожиданий. В объединенном метаанализе исследований ABSORB, включающем 3389 пациентов с ИБС, имплантация каркаса Absorb связана с повышенной частотой несостоятельности целевого поражения и тромбоза через один и три года в сравнении со стентами с лекарственными покрытиями, выделяющими эверолимус [21].

Один из самых современных биорезорбируемых каркасов — Magmaris (BIOTRONIK AG). Данный каркас имеет конструкцию с открытой ячейкой, основной структурной особенностью которого является магниевый сплав [22]. Последние результаты исследования BIOSOLVE-IV показывают, что кумулятивная частота возникновения сердечной смерти, инфаркта миокарда и реваскуляризации целевой артерии при имплантации Magmaris через два года наблюдения составляет 6,6%, что сопоставимо в сравнении со стентами с лекарственным покрытием второго поколения [23]. В РФ впервые стент биорезорбируемый каркас Magmaris был имплантирован в ФГБУ НМИЦ А.В. Вишневого пациенту с поражением правой коронарной артерии под контролем оптической когерентной томографии (ОКТ) с хорошим ангиографическим результатом [24].

Внутрикоронарная визуализация

Коронарография является “золотым стандартом” в диагностике стенозирующих поражений коронарных артерий. Однако она имеет существенные недостатки, связанные с двумерным изображением, которое ограничивает оценку стенки сосуда, состава бляшек, а также внутрикоронарной гемодинамики. Начиная с рекомендаций ЕОК 2010 г. и по настоящее время определение стратегии реваскуляризации миокарда у пациентов с поражением ствола левой коронарной артерии и трехсосудистым поражением коронарных артерий опирается на такие исследования, как SYNTAX (The SYnergy between PCI with Taxus and Cardiac Surgery) [25]. В данном исследовании выполнялось сравнение клинических результатов коронарного шунтирования и ЧКВ стентами с лекарственным покрытием TAXUS (первое поколение). На основании проведенного исследования была разработана шкала SYNTAX score (SS), которая по настоящее время является основополагающим фактором при выборе стратегии реваскуляризации миокарда. Важно отметить, что данная шкала опирается лишь на данные ангиографии и не включает оценку функциональной значимости сужения коронарных артерий, а также данные внутрисосудистой визуализации.

Показательным примером применения методов внутрисосудистой визуализации в сочетании с оценкой функциональной значимости сужений коронарных артерий является РКИ SYNTAX II [26]. В исследование было включено 454 пациента с трехсосудистым поражением коронарных артерий, которым было показано выполнение как ЧКВ, так и коронарного шунтирования (по шкале SS II) [27]. Далее каждому пациенту выполнялось измерение моментального (мРК) и фракционного (ФРК) резерва кровотока коронарных артерий по принципу гибридного подхода для выявления гемодинамически значимых стенозов, с последующим ЧКВ стентами с лекарственным покрытием второго поколения (эверолимус-выделяющий стент Synergy). После ЧКВ обязательно выполнялось контрольное внутрисосудистое ультразвуковое исследо-

вание (ВСУЗИ) в соответствии с критериями исследования MUSIC. В контрольную группу входили пациенты из исследования SYNTAX со значением SS 23–32 балла, которым выполнялось ЧКВ ($n = 315$). Через пять лет наблюдения показатель больших сердечно-сосудистых событий в группе SYNTAX II был на 46% ниже, чем в аналогичной группе SYNTAX (соответственно 21,5 против 36,4%; $p < 0,001$), а показатель смертности от всех причин — ниже на 43%, что составило соответственно 8,1 против 13,8% ($p = 0,015$) [28].

Также проводилось сравнение между группами ЧКВ из группы SYNTAX II и группой пациентов, которым выполнялось коронарное шунтирование, из исследования SYNTAX I. Через пять лет наблюдения частота больших сердечно-сосудистых осложнений составила соответственно 21,5 против 24,6% (ОР — 0,87; 95%-й ДИ: 0,64–1,17; $p = 0,35$); смерти все всех причин — 8,1 против 10,8% (ОР — 0,74; 95%-й ДИ: 0,46–1,19; $p = 0,21$); инфаркта миокарда — 2,7 против 2,5% (ОР — 1,04; 95%-й ДИ: 0,43–2,55; $p = 0,93$) и повторной реваскуляризации — 13,8 против 12,6% (ОР — 1,14; 95%-й ДИ: 0,76–1,72; $p = 0,53$) [28]. Таким образом, была доказана значимость в диагностике и лечении пациентов с ИБС применения внутрисосудистой визуализации и оценки физиологии коронарного кровоснабжения (измерение ФРК и мРК).

123

Внутрисосудистое ультразвуковое исследование

Первые снимки внутрисосудистой визуализации были получены при помощи катетерной ультразвуковой технологии уже в конце 1980-х годов. На сегодняшний день ВСУЗИ является одним из самых используемых методов внутрисосудистой визуализации коронарных артерий [29, 30]. В РФ в 2012 г. было выполнено ВСУЗИ при ЧКВ всего у 225 пациентов в 20 центрах. Однако благодаря усилиям Российского научного общества специалистов по рентгенэндоваскулярной диагностике и лечению в 2022 г. удалось включить ВСУЗИ, а также ОКТ в программу государственных гарантий выполнения ЧКВ под контролем визуализирующих технологий, и уже в том же 2022 г. в стране было выполнено 6204 ЧКВ под контролем ВСУЗИ [8].

За последние несколько лет доказательная база применения ВСУЗИ значительно расширена за счет крупных исследований. Так, метаанализ F. Darmoch et al. демонстрирует преимущества ЧКВ под контролем ВСУЗИ [30]. В данной работе проведен анализ 19 исследований, включающих 27 610 пациентов, распределенных на две группы: ЧКВ под контролем ВСУЗИ ($n = 11513$) и коронарографии ($n = 16097$). Продемонстрировано, что ЧКВ с использованием ВСУЗИ было связано с достоверным уменьшением сердечно-сосудистой смерти ($p < 0,00001$), инфаркта миокарда ($p < 0,0007$), повторной реваскуляризации ($p = 0,007$) и тромбоза стента ($p = 0,0006$) в сравнении с ЧКВ под контролем коронарографии.

Роль ВСУЗИ при ЧКВ также была показана у пациентов с острым инфарктом миокарда. Таким исследованием является работа Y. Kim et al., опубликованная в 2022 г. [31]. В исследование включено 9007 пациентов с острым коронарным синдромом из Корейского регистра острого инфаркта миокарда, которым были имплантированы стенты с лекарственным покрытием второго поколения. У 1887 (21%) пациентов выполнено ЧКВ под контролем ВСУЗИ, у 7120 (79%) — под контролем коронарографии. В отдаленном периоде (три года) совокупный показатель сердечной смерти, инфаркта миокарда в бассейне целевого сосуда и реваскуляризации

целевого поражения составил 4,8% в группе ВСУЗИ и 8,0% — в группе коронарографии ($p < 0,001$).

Объединенный метаанализ двух крупных рандомизированных клинических исследований IVUS-XPL ($n = 1289$) и ULTIMATE ($n = 1288$) демонстрирует результаты ЧКВ на протяженных поражениях венечных артерий [32]. Проводилось сравнение двух стратегий лечения — ЧКВ под контролем ВСУЗИ и коронарографии. Всем пациентам были имплантированы стенты с лекарственным покрытием длиной ≥ 28 мм. Отдаленные результаты оценивались в течение трех лет. Так, сердечная смерть наблюдалась у 1,0% пациентов в группе ЧКВ под контролем ВСУЗИ и 2,2% — в группе коронарографии ($p = 0,011$). Достоверно лучшие результаты были получены по такому кумулятивному показателю, как частота сердечной смерти, инфаркта миокарда и тромбоза стента: в группе ВСУЗИ — 1,3% по сравнению с 2,9% в группе коронарографии ($p = 0,005$).

Оптическая когерентная томография

Этот метод нашел широкое применение в различных областях медицины. Впервые он был внедрен в клиническую практику в офтальмологии, где по настоящее время используется для диагностики различной патологии сетчатки. Позже, в 1991 г., D. Huang et al. применили этот метод в интервенционной кардиологии *in vivo*. С этого времени изучение ОКТ в интервенционной кардиологии стало предметом множества исследований, одно из них — РКИ PLUMEN IV, в которое было включено 2487 пациентов с ИБС с сужением одной и более коронарных артерий [33]. Данная когорта была случайным образом разделена на две группы: в группе 1 ($n = 1233$) выполнялось ЧКВ под контролем ОКТ, что предполагало определение размера стента, его имплантация и оптимизация по протоколу ОКТ, после чего выполнялась контрольная ОКТ-визуализация. В группе 2 ($n = 1254$) выполнялось «стандартное» ЧКВ с последующим ОКТ-контролем после имплантации стента. В качестве первичной визуализирующей конечной точки было определение минимальной площади просвета стента, в качестве первичной клинической конечной точки оценивались осложнения, связанные с целевым поражением коронарных артерий (смертность, инфаркт миокарда, незапланированная реваскуляризация миокарда), в течение двух лет наблюдения. Результаты исследования показали, что минимальная площадь просвета после ЧКВ в группе 1 составила $5,72 \pm 2,04$ мм², в группе 2 — $5,36 \pm 1,87$ мм² (средняя разница — $0,36$ мм² (95%-й ДИ: $0,21$ – $0,51$; $p < 0,001$)). Что касается отдаленных клинических результатов, осложнения в целевой артерии по оценке Каплана–Мейера составила 7,4% в группе 1 и 8,2% — в группе 2 (ОР — 0,90; 95%-й ДИ: $0,67$ – $1,19$; $p = 0,45$). Тромбоз стента в течение двух лет в группе 1 имел место у 0,5% пациентов, в группе 2 — у 1,4%. Таким образом, авторы доказали, что при ЧКВ под контролем ОКТ минимальная площадь просвета была статистически больше, однако явной разницы между группами пациентов (в процентном соотношении) относительно осложнений, связанных с целевым поражением коронарных артерий, выявлено не было.

В 2023 г. опубликован крупный метаанализ S. Jiang et al., в котором изучена прогностическая ценность ОКТ в выявлении предикторов неблагоприятных сердечных событий [34]. С 2017 по 2019 г. было включено 883 пациента с острым инфарктом миокарда, которым было выполнено ЧКВ инфаркт-зависимой коронарной артерии.

Также этим пациентам одномоментно выполнена ОКТ всех крупных коронарных артерий, имеющих сужения не менее 30%. Первичной конечной точкой был совокупный показатель, включающий сердечную смерть, незапланированную реваскуляризацию миокарда и нефатальный инфаркт миокарда, не связанный с инфаркт-зависимым поражением коронарных артерий в отдаленном периоде (до четырех лет, медиана — 3,3 года). В результате исследования общая частота первичной конечной точки составила 7,2%. Независимыми предикторами первичной конечной точки являются наличие фиброатеромы с тонкой крышкой и площади минимального просвета артерии $< 3,5$ мм², несмотря на то, что исходные сужения не были ангиографически значимыми (сужения коронарных артерий — $43,8 \pm 13,4\%$).

Роль внутрикоронарной визуализации при сложных поражениях венечных артерий (многососудистые и бифуркационные поражения, хронические окклюзии, поражение ствола левой коронарной артерии, протяженные сужения более 38 мм, кальцинированное поражение, рестенозы коронарных артерий) также представлена в крупном исследовании из Южной Кореи J.M. Lee et al. [35]. В исследование было включено 1639 пациентов, которые рандомизированы в соотношении 2:1. Группа ЧКВ под контролем внутрикоронарной визуализации включала 1092 (66,6%) пациента, а ЧКВ под контролем ангиографии — 547 (33,4%). В группе ЧКВ под контролем внутрикоронарной визуализации преобладало ВСУЗИ — 74,2%, а ОКТ составило 25,8%. Комбинированный показатель смерти от сердечных причин, инфаркта миокарда, связанного с целевым сосудом, а также повторной реваскуляризации целевого сосуда в течение трех лет, в группе ЧКВ под контролем интракоронарной визуализации составил 7,7%, а в группе ЧКВ под контролем ангиографии — 12,3% ($p = 0,008$). Таким образом, применение ВСУЗИ и ОКТ у пациентов со сложными формами поражения коронарного русла привело к снижению неблагоприятных сердечных осложнений в отдаленном периоде.

Роль ОКТ в оптимизации ЧКВ доказана и в ряде других исследований. Все они ставили перед собой цель провести сравнение результатов ЧКВ под контролем ВСУЗИ и ОКТ. Результат таких исследований представлен в крупном метаанализе Y. Sattar et al., который включал 5917 пациентов из семи клинических исследований: 2075 (35%) пациентов в группе ЧКВ под контролем ОКТ и 3842 (65%) — в группе ЧКВ под контролем ВСУЗИ [36]. Отдаленный период наблюдения составил 4,8 года. В результате исследования не было получено статистически значимых различий между двумя группами: серьезные неблагоприятные сердечные события составили в группе ОКТ 2,5%, в группе ВСУЗИ — 10,2% ($p = 0,14$); сердечная смертность в группах ОКТ и ВСУЗИ была одинаковой и составила 0,6% ($p = 0,96$); смертность от всех причин в группе ОКТ — 0,7%, в группе ВСУЗИ — 2,97% ($p = 0,35$); инфаркт миокарда в группе ОКТ — 0,6%, в группе ВСУЗИ — 0,4% ($p = 0,87$); тромбоз стента в группе ОКТ — 0,29%, в группе ВСУЗИ — 0,45% ($p = 0,67$); реваскуляризация целевого поражения в группе ОКТ — 2,0%, в группе ВСУЗИ — 1,8% ($p = 0,81$); инсульт в группе ОКТ — 0,3%, в группе ВСУЗИ — 0,1% ($p = 0,87$). Таким образом, авторы сделали вывод, что ОКТ является безопасным и сопоставимым с ВСУЗИ методом визуализации для проведения ЧКВ.

Технологии ВСУЗИ и ОКТ были включены в Европейские рекомендации по реваскуляризации миокарда в 2014 г. [37]. Однако ВСУЗИ имело более высокий класс

рекомендации и уровень доказательности, чем ОКТ, в отношении оптимизации стентирования (соответственно Па В и Пб С). Спустя четыре года обе визуализирующие технологии (ОКТ и ВСУЗИ) приобрели сопоставимый класс рекомендаций (Па) и уровень доказательности В согласно рекомендациям Европейского общества кардиологов (ЕОК) по реваскуляризации миокарда за 2018 г. для оптимизации результатов ЧКВ.

Крупное ретроспективное исследование R. Fazel et al. было проведено в США, в нем анализировались данные 1 189 470 пациентов после ЧКВ [38]. Использование методов внутрисосудистой визуализации применялось в 10,5% случаев, что составило 125 227 пациентов, остальным выполнялись ЧКВ под контролем коронарографии. В течение года наблюдения было выявлено снижение частоты смертности в группе больных с использованием визуализации по сравнению с группой коронарографии — соответственно 9,9 против 10,6% ($p = 0,0002$), аналогичная тенденция сохранялась в отношении частоты инфарктов миокарда (7,4 против 8,7%; $p = 0,0034$), повторной реваскуляризации миокарда (12,5 против 16,7%; $p < 0,0001$). Общая частота больших сердечно-сосудистых осложнений в группе ЧКВ с интракоронарной визуализацией составила 25,8%, а в группе под контролем ангиографии — 30,7% ($p < 0,001$). Таким образом, на основе одного из самых крупных регистров, который включает в себя более миллиона пациентов, прослеживается четкая закономерность: методы внутрисосудистой визуализации занимают важнейшую роль в лечении пациентов с ИБС и способствуют уменьшению риска возникновения серьезных сердечно-сосудистых событий в отдаленном периоде.

В январе 2024 г. J. Sreenivasan et al. опубликовали результаты крупного метаанализа, в который включены работы, сравнивающие результаты ЧКВ под контролем внутрисосудистой визуализации и коронарографии [39]. В метаанализ вошло 16 исследований с участием 7814 пациентов. Первичные конечные точки включали частоту больших сердечно-сосудистых осложнений, сердечную смерть и смерть от всех причин. Средняя продолжительность наблюдения составила 28,8 мес. Результаты метаанализа показали, что применение внутрисосудистой визуализации привело к снижению частоты больших сердечно-сосудистых осложнений на 33% (ОР — 0,67; 95%-й ДИ: 0,55–0,82; $p < 0,001$); сердечной смертности — на 51% (ОР — 0,49; 95%-й ДИ: 0,34–0,71; $p < 0,001$); частоты тромбоза стентов — на 37% (ОР — 0,63; 95%-й ДИ: 0,40–0,99; $p = 0,046$).

Метарегрессионный анализ исследования показал значительную взаимосвязь между «сложными ЧКВ» под контролем ВСУЗИ или ОКТ и частотой больших сердечно-сосудистых осложнений. Термин «сложное ЧКВ» включает в себя стентирование незащищенного ствола левой коронарной артерии, бифуркационное стентирование, реканализацию хронической окклюзии коронарных артерий, стентирование протяженного (> 28 мм) поражения коронарных артерий, ЧКВ при многососудистом поражении коронарных артерий, рестентирование, ЧКВ при выраженном кальцинозе коронарных артерий. В подгруппе «сложных ЧКВ» под контролем визуализации в отношении смерти от всех причин ОР составил 0,75 (95%-й ДИ: 0,55–1,02; $p = 0,07$), что говорит о значительном улучшении отдаленных клинических результатов. Таким образом, результаты данного метаанализа подтверждают использование методов внутрисосудистой визуализации

при ЧКВ в качестве стандарта лечения. Авторы также заявляют, что результаты метаанализа достаточно убедительны, чтобы в последующих международных регламентирующих документах повысить класс рекомендаций до I, особенно при сложных поражениях венечных артерий.

Гибридный подход «внутрисосудистое ультразвуковое исследование — оптическая когерентная томография»

Каждый из ранее представленных методов внутрисосудистой визуализации обладает своими слабыми и сильными сторонами. В свою очередь, ВСУЗИ имеет значительное преимущество при визуализации «глубокого» кальция, в то время как ОКТ превосходит ВСУЗИ при оценке толщины кальция, а также имеет большое преимущество при оценке фиброатеромы с тонкой крышкой. Таким образом, гибридная система ВСУЗИ–ОКТ позволяет использовать персонализированный подход при ЧКВ. Первый комбинированный катетер ВСУЗИ–ОКТ был разработан X. Li и J. Yin. Однако данный катетер имеет существенный недостаток: его наружный диаметр составляет 2,4 мм (7,2 Fr). В настоящее время существуют две основные гибридные системы ВСУЗИ–ОКТ: CONAVI Novasight Hybrid™ System (Торонто, Канада) и TERUMO Dual Sensor (Токио, Япония). Первое клиническое наблюдение с применением этой гибридной системы опубликовано T.N. Sheth et al. в 2018 г. у мужчины 74 лет [40]. Широкое внедрение гибридных систем ВСУЗИ–ОКТ и проведение клинических исследований, возможно, может способствовать улучшению как внутрисосудистой визуализации, так и результатов реваскуляризации миокарда.

Функциональная оценка коронарного кровообращения

Большой вклад в изучение и развитие методов функциональной оценки коронарных артерий имеют научные труды K.L. Gould et al., N.H. Pijls et al., B. De Bruyne et al. [41, 42]. На основании их трудов были разработаны такие методы функциональной оценки коронарного кровообращения, как ФРК и мРК. Измерение ФРК доказало свою значимость и эффективность в таких крупных рандомизированных исследованиях, как DEFER, FAME и FAME II [43, 44].

С 2010 г. метод ФРК имеет I класс рекомендаций и уровень доказательности A у пациентов с пограничными поражениями коронарных артерий согласно рекомендациям ЕОК по реваскуляризации миокарда [45]. Применение мРК впервые появилось в рекомендациях ЕОК в 2018 г. с аналогичным классом рекомендаций и уровнем доказательности.

В настоящее время в современной клинической практике продолжается изучение методов функциональной оценки коронарных артерий у пациентов с различной формой ИБС [46]. Одна из таких работ — FRAME-AMI, которая демонстрирует результат применения ФРК у пациентов с инфарктом миокарда (с и без подъема сегмента ST) в сочетании с многососудистым поражением коронарных артерий [47]. В исследовании было включено 562 пациента, которым первым этапом было выполнено ЧКВ инфаркт-зависимой артерии. Далее данные больные были рандомизированы

на две группы: в группе 1 выполнялось ЧКВ под контролем ФРК (при значении ФРК $\leq 0,80$), в группе 2 — ЧКВ под контролем ангиографии. Первичная конечная точка включала в себя кумулятивный показатель: смерть, инфаркт миокарда и повторную реваскуляризацию миокарда. Медиана наблюдения составила 3,5 года. Первичная конечная точка в группе 1 составила 7,4%, а в группе 2 — 19,7% ($p = 0,003$). Таким образом, было доказано, что ЧКВ под контролем ФРК демонстрируют лучшие отдаленные результаты в сравнении с ЧКВ под контролем коронарографии.

Выбор стратегии реваскуляризации миокарда у пациентов с многососудистым поражением коронарных артерий до сих пор вызывает множество причин для дискуссии. В настоящее время согласно клиническим рекомендациям ЕОК от 2018 г. выбор метода реваскуляризации миокарда у таких пациентов опирается на шкалу SYNTAX Score (SS). Однако эта шкала основывается лишь на данных коронарографии и не включает ряд клинических факторов и особенности функциональной и морфологической оценки поражений коронарных артерий. В этом контексте хотелось бы обсудить результаты исследования FAME 3. Аналогично исследованию SYNTAX, в эту работу были включены пациенты с трехсосудистым поражением коронарных артерий (без стеноза ствола левой коронарной артерии), однако оценка тяжести поражений коронарных артерий выполнялось под контролем ФРК [48]. Пациенты ($n = 1500$) были рандомизированы на две группы. В группе 1 ($n = 757$) выполнялось ЧКВ функционально значимых стенозов по данным ФРК с имплантацией стентов с лекарственным покрытием зотаролимус (Resolute Integrity или Resolute Onyx, Medtronic), в группе 2 ($n = 743$) — коронарное шунтирование с полной реваскуляризацией миокарда по данным коронарографии. Первичными конечными точками были кумулятивная частота смертей от всех причин, инфаркт миокарда, инсульт, повторная реваскуляризация миокарда. Через год наблюдения не было получено достоверной разницы в частоте первичной конечной точки: в группе 1 — 10,6%; в группе 2 — 6,9% ($p = 0,35$) (рис. 1).

В период 30-дневного наблюдения метод ЧКВ получил значительное преимущество перед операцией коронарного шунтирования в отношении таких осложнений, как кровотечение (1,6 против 3,8%; $p = 0,009$), острая почечная недостаточность (0,1 против 0,9%; $p = 0,04$), аритмия (2,4 против 14,1%; $p < 0,001$), а также повторная госпитализация (5,5 против 14,1%; $p < 0,001$).

Если сравнить результаты исследований FAME 3 и Syntax, то можно выделить несколько важных тенденций: применение методов функциональной оценки значимости стенозов коронарных артерий привело к уменьшению количества имплантируемых стентов (3,7 против 4,6) при одинаковом количестве ангиографических поражений коронарных артерий, а также имплантация стентов нового поколения с использованием метода определения ФРК значительно снизила частоту повторных реваскуляризаций миокарда (4,9 против 13,5%) [48].

В 2012 г. был представлен метод интраоперационной оценки гемодинамической значимости стенозов коронарных артерий, не требующий введения вазодилататоров, — измерение мРК. Этот метод основан на законе, описанном уравнением Гагена–Пуазейля. В отличие от индекса ФРК, измерение мРК происходит в «безволновой период», что позволяет избежать введения гиперемических агентов. Внедрению метода измерения мРК в клиническую практику способствовали такие крупные исследования, как ADVISE, VERIFY, ADVISE II и RESOLVE. Изначально метод был внедрен в клиническую практику в рамках «гибридного» подхода, что подразумевало в первую очередь измерение мРК: если показатель находился в пределах от 0,86 до 0,93, то следующим этапом выполнялось измерение ФРК. Таким образом, этот подход позволил снизить частоту применения гиперемических препаратов в 60–70% случаев [49].

Позже на основании таких крупных многоцентровых исследований, как DEFINE-FLAIR (Functional Lesion Assessment of Intermediate Stenosis to Guide Revascularisation) и iFR SWEDEHEART (Evaluation of iFR vs FFR in Stable Angina or Acute Coronary Syndrome), метод измерения мРК зарекомендовал себя в качестве независимого

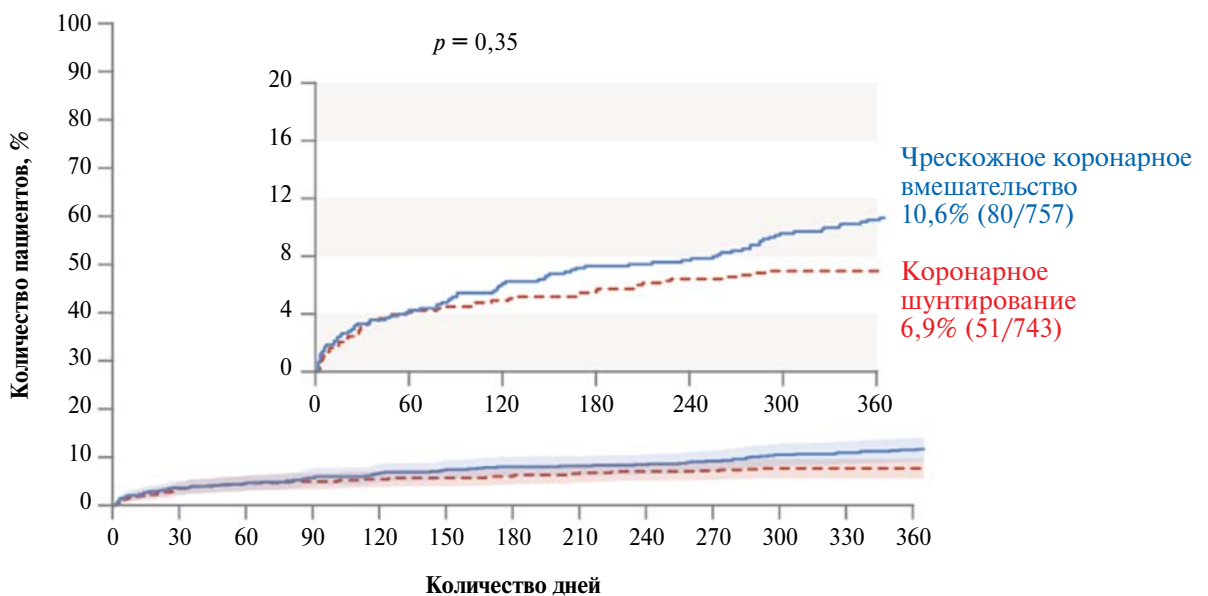


Рис. 1. Частота больших сердечно-сосудистых осложнений в течение одного года (исследование FAME 3)

метода функциональной оценки значимости поражения коронарных артерий [50, 51]. В исследования входили пациенты как со стабильной ИБС, так и с острым коронарным синдромом. Данные больные были разделены на две группы: группа 1 — реваскуляризация миокарда под контролем мРК, группа 2 — под контролем ФРК. Конечными точками исследования были смертность от всех причин, инфаркт миокарда и незапланированная реваскуляризация миокарда. Через год наблюдения первичная конечная точка в исследовании DEFINE-FLAIR в группе 1 составила 6,8%, в группе 2 — 7,0% ($p < 0,001$), в исследовании iFR SWEDENEART — соответственно 6,7 и 6,1% ($p = 0,007$).

Однако в 2023 г. был опубликован крупный мета-анализ, основанный на пятилетних результатах, РКИ SWEDENEART и DEFINE-FLAIR, в который включено 2037 пациентов [52]. Данное исследование демонстрирует частоту больших сердечно-сосудистых событий в группе мРК ($n = 1019$), что составило 21,5%, а в группе ФРК ($n = 1018$) — 18,6% (ОР — 1,18; 95%-й ДИ: 1,04–1,34). Аналогично общая смертность составила 8,3 против 6,3% (ОР — 1,34; 95%-й ДИ: 1,08–1,67), а частота незапланированной реваскуляризации — соответственно 10,4 против 10,7% (ОР — 0,99; 95%-й ДИ: 0,83–1,19). Таким образом, представленные результаты демонстрируют увеличение пятилетней смертности от всех причин и кумулятивного показателя больших сердечно-сосудистых событий среди пациентов, которым выполнялась реваскуляризация миокарда по данным мРК в сравнении с ФРК.

С увеличением количества выполняемых ЧКВ закономерно увеличивается частота коронарных вмешательств у пациентов со сложными поражениями коронарных артерий — тандемным и диффузным поражением. В подобных случаях при измерении ФРК потребуются более частое введение гиперемических препаратов, что значительно увеличивает риск осложнений, основным из которых является нарушение ритма сердца [53]. В таком случае измерение мРК с обратной протяжкой (pullback-iFR) датчика имеет значительное преимущество и позволяет выстроить физиологическую карту градиентов давления. Далее интраоперационно на основании специального программного обеспечения (SyncVision, Philips/Volcano) можно выполнить виртуальное стентирование с последующим прогнозированием значения мРК после имплантации стента. Эффективность и точность данного метода была представлена в проспективных исследованиях S.S. Nijjer, H. Otori, A. Matsuo и исследовании iFR GRADIENT [54–57]. В исследование iFR GRADIENT (Single instantaneous Wave-Free Ratio Pullback Pre-Angioplasty Predict Hemodynamic Outcome without Wedge Pressure in Human Coronary Artery Disease) было включено 128 пациентов с диффузным поражением коронарных артерий, которым выполнялась коронарография с измерением мРК с обратной протяжкой (корегистрация мРК). Применение данной технологии позволило изменить стратегию ЧКВ в 31% случаев. После ЧКВ среднее различие между прогнозируемым и фактическим мРК составило $0,011 \pm 0,004$ (вероятность ошибки — $1,4 \pm 0,5\%$), что указывает на высокую прогностическую точность. Однако, несмотря на полученные результаты, применение мРК с корегистрацией требует дальнейших клинических исследований.

Также крайне важно выполнять физиологическую оценку кровотока после ЧКВ, особенно при сложных поражениях коронарных артерий. Так, в исследовании DEFINE PCI (Physiologic Assessment of Coronary Stenosis Follow PCI) было включено 500 пациентов со сложными поражениями коронарных артерий, которым было вы-

полнено измерение мРК после ангиографически успешного ЧКВ. Исследование показало, что «остаточная» ишемия (значение мРК после ЧКВ — менее 0,89) отмечается у 112 (24%) пациентов со средним значением мРК $0,84 \pm 0,06$. Результаты годового наблюдения показали, что достижение значений мРК после ЧКВ более 0,95 показывает значительное снижение частоты сердечной смерти, инфаркта миокарда или незапланированной реваскуляризации целевой артерии по сравнению со значением показателя мРК после ЧКВ менее 0,95 (1,8 против 5,7%; $p = 0,04$) [58].

Таким образом, определение мРК после ЧКВ позволяет выявить «остаточную» ишемию, а достижение значения мРК более 0,95 после ЧКВ положительно отражается на отдаленных результатах в отношении больших сердечно-сосудистых осложнений [59].

Заключение

С каждым годом подход к стратегии лечения пациентов с ИБС меняется благодаря внедрению в клиническую практику современных стентов, методов внутрисосудистой визуализации (ВСУЗИ и ОКТ), а также изучению физиологии коронарного кровотока (ФРК и мРК). На основании представленных литературных данных мы считаем, что внедрение в клиническую практику этих инновационных технологий способствует значительному улучшению отдаленных клинических результатов ЧКВ.

Их внедрение оказало значительное влияние на смену парадигмы в лечении пациентов ИБС. На многие сложные и затруднительные вопросы, связанные с ЧКВ, ответы стали появляться прямо в операционной. Стало более ясным и четким представление о тяжести сужений коронарных артерий и результатах ЧКВ. И если современные стенты с лекарственным покрытием уже прочно укоренились в клинической практике, то на сегодняшний день мы наблюдаем крайне низкую частоту выполнения ВСУЗИ, ОКТ, мРК и ФРК при ЧКВ. С нашей точки зрения, применение данных технологий у пациентов с тяжелым поражением коронарных артерий должно стать стандартом при лечении ИБС.

Представленные результаты приведенных нами крупных исследований могут стать основанием для повышения класса рекомендаций методов внутрисосудистой визуализации и оценки физиологии коронарного русла при последующем пересмотре регламентирующих документов по реваскуляризации миокарда.

Дополнительная информация

Источник финансирования. Исследования выполнены, рукопись подготовлена и публикуется за счет финансирования по месту работы авторов.

Конфликт интересов. Авторы данной статьи подтвердили отсутствие конфликта интересов, о котором необходимо сообщить.

Участие авторов. Б.Г. Алякян — проверка критически важного содержания, редактирование материала, утверждение рукописи для публикации; Н.Н. Мелешенко — редактирование материала, проверка критически важного содержания; В.В. Атрошенко — обработка, анализ и интерпретация данных, написание текста рукописи.

ЛИТЕРАТУРА

1. Алшибая М.Д., Бокерия Л.А., Глянцев С.П. История коронарного шунтирования от А. Карреля до Р.Фаволоро // *Бюллетень НЦССХ им. А.Н. Бакулева РАМН. Сердечно-сосудистые заболевания*. — 2017. — Т. 18. — № S6. — С. 62. [Alshibaya MD, Boqueria LA, Glyantsev SP. History of coronary bypass surgery from A. Carrel to R. Favoloro. *Bulletin of the Scientific Center for Agricultural Sciences named after. A.N. Bakulev RAMS. Cardiovascular Diseases*. 2017;18(S6):62. (In Russ.)]
2. Demikhov V. *Experimental Transplantation of vital organs. Authorized translation from the Russian by Basil Haigh*. N.Y.: Consultant's Bureau; 1962.
3. Kolessov VI. Mammary artery-coronary artery anastomosis as method of treatment for angina pectoris. *J Thorac Cardiovasc Surg*. 1967;54(4):535–544.
4. Favoloro RG. Saphenous vein autograft replacement of severe segmental coronary artery occlusion: operative technique. *Ann Thorac Surg*. 1968;5(4):334–339. doi: [https://doi.org/10.1016/s0003-4975\(10\)66351-5](https://doi.org/10.1016/s0003-4975(10)66351-5)
5. Barton M, Grüntzig J, Husmann M, et al. Balloon Angioplasty — The Legacy of Andreas Grüntzig, M.D. (1939–1985). *Front Cardiovasc Med*. 2014;1:15. doi: <https://doi.org/10.3389/fcvm.2014.00015>
6. Sigwart U, Puel J, Mirkovitch V, et al. Intravascular stents to prevent occlusion and re-stenosis after transluminal angioplasty. *N Engl J Med*. 1987;316(12):701–706. doi: <https://doi.org/10.1056/nejm198703193161201>
7. Mak KH, Topol EJ. Clinical Trials to Prevent Restenosis after Percutaneous Coronary Revascularization. *Ann N Y Acad Sci*. 1997;811:255–288. doi: <https://doi.org/10.1111/j.1749-6632.1997.tb52007.x>
8. Алекаян Б.Г., Григорьян А.М., Стаферов А.В., и др. Рентгенэндоваскулярная диагностика и лечение заболеваний сердца и сосудов в Российской Федерации — 2022 год // *Эндоваскулярная хирургия*. — 2023. — № 10 (Специальный выпуск). — S5–S256. [Alekyan BG, Grigoryan AM, Staferov AV, et al. Endovascular diagnostics and treatment in the Russian Federation — 2022. *Russian Journal of Endovascular Surgery*. 2023;10(Special Issue):S5–S256. (In Russ.)] doi: <https://doi.org/10.24183/2409-4080-2023-10S-S5-S256>
9. Holmes DR Jr, Leon MB, Moses JW, et al. Analysis of 1-year clinical outcomes in the SIRIUS trial: a randomized trial of a sirolimus-eluting stent versus a standard stent in patients at high risk for coronary restenosis. *Circulation*. 2004;109(5):634–640. doi: <https://doi.org/10.1161/01.CIR.0000112572.57794.22>
10. Stone GW, Ellis SG, Cannon L, et al. Comparison of a polymer-based paclitaxel-eluting stent with a bare metal stent in patients with complex coronary artery disease. *JAMA*. 2005;294(10):1215–1223. doi: <https://doi.org/10.1001/jama.294.10.1215>
11. Прохорихин А.А., Байструков В.И., Гражданкин И.О., и др. Простое слепое проспективное рандомизированное мультицентровое исследование эффективности и безопасности сиролимус-доставляющего коронарного стента «Калипсо» и эверолимус-доставляющего коронарного стента XiencePrime: результаты исследования «ПАТРИОТ» // *Патология кровообращения и кардиохирургия*. — 2017. — Т. 21. — № 3. — С. 76–85. [Prokhorikhin AA, Baystrukov VI, Grazhdankin IO, et al. A single-blind, prospective, randomized, multicenter study of the efficacy and safety of the sirolimus-eluting coronary stent Calipso and the everolimus-eluting coronary stent XiencePrime: results of the PATRIOT study. *Blood circulation pathology and cardiac surgery*. 2017;21(3):76–85. (In Russ.)] doi: <http://dx.doi.org/10.21688/1681-3472-2017-3-76-85>
12. Blum M, Cao D, Mehran R, et al. Device profile of the Resolute Onyx Zotarolimus eluting coronary stent system for the treatment of coronary artery disease: overview of its safety and efficacy. *Expert Rev Med Devices*. 2020;17(4):257–265. doi: <https://doi.org/10.1080/17434440.2020.1736037>
13. Von Birgelen C, Sen H, Lam MK, et al. Third-generation zotarolimus-eluting and everolimus-eluting stents in all-comer patients requiring a percutaneous coronary intervention (DUTCH PEERS): a randomised, single-blind, multicentre, non-inferiority trial. *Lancet*. 2014;383(9915):413–423. doi: [https://doi.org/10.1016/s0140-6736\(13\)62037-1](https://doi.org/10.1016/s0140-6736(13)62037-1)
14. Otsuka F, Nakazawa G, Nakano M, et al. The Pathology of Neoatherosclerosis in Human Coronary Bare Metal and Drug-Eluting Stent Implants. *J Am Coll Cardiol*. 2011;57(14):E2051. doi: [https://doi.org/10.1016/s0735-1097\(11\)62051-2](https://doi.org/10.1016/s0735-1097(11)62051-2)
15. Nakayoshi T, Ueno T, Sasaki K, et al. Differential angioscopic findings of neointimal coverage among first-, second-, and next generation drug-eluting stents. *Int J Cardiol*. 2016;223:450–451. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ijcard.2016.08.175>
16. Lee SWL, Tam FCC, Chan KKW, et al. Establishment of healing profile and neointimal transformation in the new polymer-free biolimus A9-coated coronary stent by longitudinal sequential optical coherence tomography assessments: the EGO-BIOFREEDOM study. *EuroIntervention*. 2018;14(7):780–788. doi: <https://doi.org/10.4244/eij-d-18-00061>
17. Haude M, Toelg R, Lemos PA, et al. Sustained Safety and Performance of a Second-Generation Sirolimus-Eluting Absorbable Metal Scaffold: Long-Term Data of the BIOSOLVE-II First-in-Man Trial at 5 Years. *Cardiovasc Revasc Med*. 2022;38:106–110. doi: <https://doi.org/10.1016/j.carrev.2021.07.017>
18. Serruys PW, Garcia-Garcia HM, Onuma Y. From metallic cages to transient bioresorbable scaffolds: change in paradigm of coronary revascularization in the upcoming decade? *Eur Heart J*. 2011;33(1):16–25. doi: <https://doi.org/10.1093/eurheartj/ehr384>
19. Ormiston JA, Serruys PW, Regar E, et al. A bioabsorbable everolimus-eluting coronary stent system for patients with single de-novo coronary artery lesions (ABSORB): a prospective open-label trial. *Lancet*. 2008;371(9616):899–907. doi: [https://doi.org/10.1016/s0140-6736\(08\)60415-8](https://doi.org/10.1016/s0140-6736(08)60415-8)
20. Serruys PW, Onuma Y, Ormiston JA, et al. Evaluation of the second generation of a bioresorbable everolimus drug-eluting vascular scaffold for treatment of de novo coronary artery stenosis: six-month clinical and imaging outcomes. *Circulation*. 2010;122(22):2301–2312. doi: <https://doi.org/10.1161/circulationaha.110.970772>
21. Ali ZA, Gao R, Kimura T, et al. Three-Year Outcomes with the Absorb Bioresorbable Scaffold: Individual-Patient-Data Meta-Analysis from the ABSORB Randomized Trials. *Circulation*. 2018;137(5):464–479. doi: <https://doi.org/10.1161/circulationaha.117.031843>
22. Haude M, Ince H, Abizaid A, et al. Safety and performance of the second-generation drug-eluting absorbable metal scaffold in patients with de-novo coronary artery lesions (BIOSOLVE-II): 6 month results of a prospective, multicentre, non-randomised, first-in-man trial. *Lancet*. 2016;387(10013):31–39. doi: [https://doi.org/10.1016/s0140-6736\(15\)00447-x](https://doi.org/10.1016/s0140-6736(15)00447-x)
23. Bennett J, Wlodarczak A, Montorsi P, et al. TCT-61 Safety and Efficacy of the Resorbable Magnesium Scaffold Magmaris in a Real-World Setting — 24-Month Follow-up of the Full Cohort (2,066 subjects) of the BIOSOLVE-IV Registry. *J Am Coll Cardiol*. 2022;80(12):B25. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jacc.2022.08.074>
24. Алекаян Б.Г., Новак А.Я., Мелешенко Н.Н., и др. Первый случай имплантации биорезорбируемого сосудистого каркаса Magmaris в Российской Федерации // *Эндоваскулярная хирургия*. — 2022. — Т. 9. — № 4. — С. 396–401. [Alekyan BG, Novak AY, Meleshenko NN, et al. The first case of a bioresorbable vascular scaffold Magmaris implantation in the Russian Federation. *Russian Journal of Endovascular Surgery*. 2022;9(4):396–401. (In Russ.)] doi: <https://doi.org/10.24183/2409-4080-2022-9-4-396-401>

25. Serruys PW, Morice MC, Kappetein AP, et al. Percutaneous coronary intervention versus coronary-artery bypass grafting for severe coronary artery disease. *N Engl J Med.* 2009;360(10):961–972. doi: <https://doi.org/10.1056/NEJMoa0804626>
26. Campos CM, Stanetic BM, Farooq V, et al. Risk stratification in 3-vessel coronary artery disease: Applying the SYNTAX Score II in the Heart Team Discussion of the SYNTAX II trial. *Catheter Cardiovasc Interv.* 2015;86(6):E229–E238. doi: <https://doi.org/10.1002/ccd.25907>
27. Corrigendum to: ‘Clinical outcomes of state-of-the-art percutaneous coronary revascularization in patients with de novo three vessel disease: 1-year results of the SYNTAX II study. *Eur Heart J.* 2018;39(18):1619. doi: <https://doi.org/10.1093/eurheartj/ehx547>
28. Banning AP, Serruys P, De Maria GL, et al. Five-year outcomes after state-of-the-art percutaneous coronary revascularization in patients with de novo three-vessel disease: final results of the SYNTAX II study. *Eur Heart J.* 2022;43(13):1307–1316. doi: <https://doi.org/10.1093/eurheartj/ehab703>
29. Groenland FTW, Neleman T, Kakar H, et al. Intravascular ultrasound-guided versus coronary angiography-guided percutaneous coronary intervention in patients with acute myocardial infarction: A systematic review and meta-analysis. *Int J Cardiol.* 2022;353:35–42. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ijcard.2022.01.021>
30. Darmoch F, Alraies MC, Al-Khadra, et al. Intravascular Ultrasound Imaging-Guided Versus Coronary Angiography-Guided Percutaneous Coronary Intervention: A Systematic Review and Meta-Analysis. *J Am Heart Assoc.* 2020;9(5). doi: <https://doi.org/10.1161/jaha.119.013678>
31. Kim Y, Bae S, Johnson TW, et al. Role of Intravascular Ultrasound-Guided Percutaneous Coronary Intervention in Optimizing Outcomes in Acute Myocardial Infarction. *J Am Heart Assoc.* 2022;11(5):e023481. doi: <https://doi.org/10.1161/JAHA.121.023481>
32. Hong SJ, Zhang JJ, Mintz GS, et al. Improved 3-Year Cardiac Survival After IVUS-Guided Long DES Implantation. *JACC Cardiovasc Interv.* 2022;15(2):208–216. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jcin.2021.10.020>
33. Ali ZA, Landmesser U, Maehara A, et al. Optical Coherence Tomography-Guided versus Angiography-Guided PCI. *N Engl J Med.* 2023;389(16):1466–1476. doi: <https://doi.org/10.1056/NEJMoa2305861>
34. Jiang S, Fang C, Xu X, et al. Identification of High-Risk Coronary Lesions by 3-Vessel Optical Coherence Tomography. *J Am Coll Cardiol.* 2023;81(13):1217–1230. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jacc.2023.01.030>
35. Lee JM, Choi KH, Song YB, et al. Intravascular Imaging-Guided or Angiography-Guided Complex PCI. *N Engl J Med.* 2023;388(18):1668–1679. doi: <https://doi.org/10.1056/nejmoa2216607>
36. Sattar Y, Abdul Razzack A, Kompella R, et al. Outcomes of intravascular ultrasound versus optical coherence tomography guided percutaneous coronary angiography: A meta regression-based analysis. *Catheter Cardiovasc Interv.* 2021;99(1):E1–E11. doi: <https://doi.org/10.1002/ccd.29976>
37. Kolh P, Windecker S, Alfonso F, et al. 2014 ESC/EACTS Guidelines on myocardial revascularization: the Task Force on Myocardial Revascularization of the European Society of Cardiology (ESC) and the European Association for Cardio-Thoracic Surgery (EACTS). Developed with the special contribution of the European Association of Percutaneous Cardiovascular Interventions (EAPCI). *Eur J Cardiothorac Surg.* 2014;46(4):517–592. doi: <https://doi.org/10.1093/ejcts/ezu366>
38. Fazel R, Yeh RW, Cohen DJ, et al. Intravascular imaging during percutaneous coronary intervention: temporal trends and clinical outcomes in the USA. *Eur Heart J.* 2023;44(38):3845–3855. doi: <https://doi.org/10.1093/eurheartj/ehad430>
39. Sreenivasan J, Reddy RK, Jamil Y, et al. Intravascular Imaging-Guided Versus Angiography-Guided Percutaneous Coronary Intervention: A Systematic Review and Meta-Analysis of Randomized Trials. *J Am Heart Assoc.* 2024;13(2):e031111. doi: <https://doi.org/10.1161/JAHA.123.031111>
40. Sheth TN, Pinilla-Echeverri N, Mehta SR, et al. First-in-Human Images of Coronary Atherosclerosis and Coronary Stents Using a Novel Hybrid Intravascular Ultrasound and Optical Coherence Tomographic Catheter. *JACC Cardiovasc Interv.* 2018;11(23):2427–2430. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jcin.2018.09.022>
41. Gould KL, Lipscomb K, Hamilton GW. Physiologic basis for assessing critical coronary stenosis. Instantaneous flow response and regional distribution during coronary hyperemia as measures of coronary flow reserve. *Am J Cardiol.* 1974;33(1):87–94. doi: [https://doi.org/10.1016/0002-9149\(74\)90743-7](https://doi.org/10.1016/0002-9149(74)90743-7)
42. Pijls NH, van Son JA, Kirkeeide RL, et al. Experimental basis of determining maximum coronary, myocardial, and collateral blood flow by pressure measurements for assessing functional stenosis severity before and after percutaneous transluminal coronary angioplasty. *Circulation.* 1993;87(4):1354–1367. doi: <https://doi.org/10.1161/01.cir.87.4.1354>
43. Zimmermann FM, Ferrara A, Johnson NP, et al. Deferral vs. performance of percutaneous coronary intervention of functionally non-significant coronary stenosis: 15-year follow-up of the DEFER trial. *Eur Heart J.* 2015;36(45):3182–3188. doi: <https://doi.org/10.1093/eurheartj/ehv452>
44. De Bruyne B, Pijls NHJ, Kalesan B, et al. Fractional flow reserve-guided PCI versus medical therapy in stable coronary disease. *N Engl J Med.* 2012;367(11):991–1001. doi: <https://doi.org/10.1056/nejmoa1205361>
45. Guidelines on myocardial revascularization. *Eur Heart J.* 2010;31(20):2501–2555. doi: <https://doi.org/10.1093/eurheartj/ehq277>
46. Алекаян Б.Г., Карапетян Н.Г., Мелещенко Н.Н., и др. Результаты реваскуляризации миокарда у больных ишемической болезнью сердца с пограничным поражением коронарных артерий под контролем моментального резерва кровотока // *Эндovasкулярная хирургия.* — 2024. — Т. 8. — № 1. — С. 20–26. [Alekyan BG, Karapetyan NG, Meleshenko NN, et al. Results of myocardial revascularization in patients with coronary artery disease with intermediate coronary stenosis under control of instantaneous wave-free ratio. 2021;8(1):20–26. (In Russ.)] doi: <https://doi.org/10.24183/2409-4080-2021-8-1-20-26>
47. Lee JM, Kim HK, Park KH, et al. Fractional flow reserve versus angiography-guided strategy in acute myocardial infarction with multivessel disease: a randomized trial. *Eur Heart J.* 2023;44(6):473–484. doi: <https://doi.org/10.1093/eurheartj/ehac763>
48. Fearon WF, Zimmermann FM., De Bruyne B, et al. Fractional Flow Reserve-Guided PCI as Compared with Coronary Bypass Surgery. *N Engl J Med.* 2022;386(2):128–137. doi: <https://doi.org/10.1056/nejmoa2112299>
49. Escaned J, Echavarría-Pinto M, Garcia-Garcia, et al. Prospective Assessment of the Diagnostic Accuracy of Instantaneous Wave-Free Ratio to Assess Coronary Stenosis Relevance: Results of ADVISE II International, Multicenter Study (ADenosine Vasodilator Independent Stenosis Evaluation II). *JACC Cardiovasc Interv.* 2015;8(6):824–833. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jcin.2015.01.029>
50. Davies JE, Sen S, Dehbi HM, et al. Use of the Instantaneous Wave-free Ratio or Fractional Flow Reserve in PCI. *N Engl J Med.* 2017;376(19):1824–1834. doi: <https://doi.org/10.1056/nejmoa1700445>
51. Göteborg M, Christiansen EH, Gudmundsdottir IJ, et al. Instantaneous Wave-Free Ratio versus Fractional Flow Reserve to Guide PCI. *N Engl J Med.* 2017;376(19):1813–1823. doi: <https://doi.org/10.1056/nejmoa1616540>
52. Eftekhari A, Holck EN, Westra J, et al. Five-year major cardiovascular events are increased when coronary revascularization

- is guided by instantaneous wave-free ratio compared to fractional flow reserve: a pooled analysis of iFR-SWEDEHEART and DEFINE-FLAIR trials. *Eur Heart J*. 2023;44(41):4376–4384. doi: <https://doi.org/10.1093/eurheartj/ehad582>
53. Kim HL, Koo BK, Nam CW, et al. Clinical and physiological outcomes of fractional flow reserve-guided percutaneous coronary intervention in patients with serial stenoses within one coronary artery. *JACC Cardiovasc Interv*. 2012;5(10):1013–1018. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jcin.2012.06.017>
54. Kikuta Y, Cook CM, Sharp ASP, et al. Pre-Angioplasty Instantaneous Wave-Free Ratio Pullback Predicts Hemodynamic outcome in Humans with Coronary Artery Disease: Primary Results of the International Multicenter iFR GRADIENT Registry. *JACC Cardiovasc Interv*. 2018;11(8):757–767. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jcin.2018.03.005>
55. Matsuo A, Kasahara T, Ariyoshi M, et al. Utility of angiography-physiology coregistration maps during percutaneous coronary intervention in clinical practice. *Cardiovasc Interv Ther*. 2021;36(2):208–218. doi: <https://doi.org/10.1007/s12928-020-00668-0>
56. Omori H, Kawase Y, Mizukami T, et al. Comparisons of Nonhyperemic Pressure Ratios: Predicting Functional Results of Coronary Revascularization Using Longitudinal Vessel Interrogation. *JACC Cardiovasc Interv*. 2020;13(22):2688–2698. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jcin.2020.06.060>
57. Nijjer SS, Sen S, Petraco R, et al. Pre-angioplasty instantaneous wave-free ratio pullback provides virtual intervention and predicts hemodynamic outcome for serial lesions and diffuse coronary artery disease. *JACC Cardiovasc Interv*. 2014;7(12):1386–1396. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jcin.2014.06.015>
58. Patel MR, Jeremias A, Maehara A, et al. 1-Year Outcomes of Blinded Physiological Assessment of Residual Ischemia after Successful PCI. *JACC Cardiovasc Interv*. 2022;15(1):52–61. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jcin.2021.09.042>
59. Jeremias A, Davies JE, Maehara A, et al. Blinded Physiological Assessment of Residual Ischemia after Successful Angiographic Percutaneous Coronary Intervention: The DEFINE PCI Study. *JACC Cardiovasc Interv*. 2019;12(20):1991–2001. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jcin.2019.05.054>

КОНТАКТНАЯ ИНФОРМАЦИЯ

Атрошенко Вячеслав Владимирович, врач [*Vyacheslav V. Atroshenko*, MD]; адрес: 117997, Москва, ул. Большая Серпуховская, д. 27 [address: 27 Bolshaya Serpukhovskaya str., 117997, Moscow, Russia]; e-mail: atroshenko96@mail.ru, ORCID: <https://orcid.org/0009-0004-2809-9484>

Мелешенко Николай Николаевич, к.м.н. [*Nikolay N. Meleshenko*, MD, PhD]; e-mail: dr.meleshenko_nn@mail.ru, SPIN-код: 2271-1880, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4204-1092>

Алесян Баграт Гегамович, д.м.н., профессор, академик РАН [*Bagrat G. Alekyan*, MD, PhD, Professor, Academician of the RAS]; e-mail: bagrat.alekyan@gmail.com, SPIN-код: 1544-2818, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6509-566X>