

## **ЧРЕСКОЖНЫЕ КОРОНАРНЫЕ ВМЕШАТЕЛЬСТВА: ВНУТРИСОСУДИСТЫЕ МЕТОДЫ ВИЗУАЛИЗАЦИИ И ИЗМЕРЕНИЕ ВНУТРИКОРОНАРНОЙ ГЕМОДИНАМИКИ**

<sup>1,2</sup>Черняк А. А., <sup>2</sup>Дешко М. С., <sup>2</sup>Снежицкий В. А., <sup>1,2</sup>Янушко А. В., <sup>1</sup>Максимчик А. В.

<sup>1</sup>Гродненский областной клинический кардиологический центр, Гродно, Беларусь

<sup>2</sup>Гродненский государственный медицинский университет, Гродно, Беларусь

*Традиционные методы ангиографии коронарных артерий не позволяют получить исчерпывающую информацию о структуре атеросклеротических поражений и выраженности сосудистого стеноза. Внедренные в последние годы методы оптической когерентной томографии и внутрисосудистого ультразвукового исследования демонстрируют высокий диагностический потенциал и клиническую эффективность, подтверждаемую снижением осложнений и смертности пациентов от ишемической болезни сердца. Появление методов измерения фракционного резерва кровотока и моментального резерва кровотока дало надежные критерии для оценки гемодинамически значимых стенозов и позволило более обоснованно подходить к реваскуляризации. В статье рассмотрены основные аспекты клинического использования указанных методов.*

**Ключевые слова:** внутрисосудистое ультразвуковое исследование, оптическая когерентная томография, чрескожное коронарное вмешательство, острый коронарный синдром, атеросклеротическая бляшка, фракционный резерв кровотока, моментальный резерв кровотока.

**Для цитирования:** Черняк, А. А. Чрескожные коронарные вмешательства: внутрисосудистые методы визуализации и измерение внутрикоронарной гемодинамики / А. А. Черняк, М. С. Дешко, В. А. Снежицкий, А. В. Янушко, А. В. Максимчик // Журнал Гродненского государственного медицинского университета. 2020. Т. 18, № 5. С. 513-522. <http://dx.doi.org/10.25298/2221-8785-2020-18-5-513-522>.

### **Введение**

Коронарная ангиография – традиционный способ визуализации и оценки анатомии венечных артерий в диагностических манипуляциях и при проведении чрескожного коронарного вмешательства (ЧКВ). Тем не менее, получаемое при этом изображение не позволяет визуализировать структуру самой стенки сосуда, оценивать его размеры, изучать атеросклеротические образования. Внедрение в медицинскую практику более современных методов – оптической когерентной томографии (ОКТ) и внутрисосудистого ультразвукового исследования (ВСУЗИ) – дает возможность компенсировать недостающие данные, оптимизировать технику имплантации стента, уменьшая количество возможных осложнений, в частности необходимости повторной реваскуляризации, тромбоза стентов и ретенноза внутри стента, сердечно-сосудистой смертности. Рандомизированные и обсервационные исследования, а также мета-анализ данных подтвердили преимущества ЧКВ с использованием ВСУЗИ и ОКТ по сравнению с ангиографическим методом. Имеющаяся доказательная база легла в основу консенсусного документа Европейской ассоциации чрескожных сердечно-сосудистых вмешательств (EAPCI) по использованию, преимуществам и ограничениям ВСУЗИ и ОКТ, подготовленного группой экспертов в 2018 г. [1].

Несмотря на очевидные преимущества новых методов, четкие критерии оценки поражения коронарных артерий при внутрисосудистой визуализации, определяющие показания к проведению реваскуляризации, отсутствуют. Внедрение методов измерения фракционного резерва кровотока (ФРК) и моментального резерва кровотока (МРК) дает возможность применять

числовые пороговые значения для выявления гемодинамически значимых стенозов, которые требуют проведения коронарного вмешательства. Использование данных методов сделало выбор клинической стратегии для пациентов с ИБС более обоснованным.

### **Внутрисосудистое ультразвуковое исследование**

Внутрисосудистое ультразвуковое исследование представляет собой метод инвазивной визуализации, который позволяет в режиме реального времени проводить продольные и поперечные оценки размеров сосуда и его просвета, а также распределение и морфологию атеросклеротических бляшек (АСБ). Изображение создается посредством измерения интенсивности и синхронизации отраженных сигналов с осевым анализом 150-250 мкм и с глубиной проникновения 45 мм. Метод ВСУЗИ подразумевает использование небольшого ультразвукового зонда, расположенного на конце гибкого катетера, вводимого в коронарные артерии. Рабочая частота ВСУЗИ – 20-60 МГц. Метод является безопасной процедурой: за исключением временного спазма сосудов частота осложнений, вызванных данной манипуляцией, низкая (<0,6%). Прогрессирования атеросклероза коронарных артерий после использования ВСУЗИ не отмечалось [2].

ВСУЗИ дает возможность дифференцировать три слоя артериальной стенки: интиму, гладкомышечный и соединительнотканый слой. Атеросклеротические бляшки обнаруживаются в интиме, они обладают меньшей экзогенностью, чем окружающие ткани, в то же время атероматические бляшки с фиброзной крышкой характеризуются умеренной экзогенностью. Кальцифицированные АСБ демонстрируют повышенную

эхогенность и дают акустическое затенение. Поврежденная АСБ выглядит как полостное образование, контактирующее с просветом сосуда через разорванную фиброзную крышку. Разрыв АСБ связан с плохим прогнозом и является одной из наиболее частых причин острого коронарного синдрома (ОКС). Kusama и соавт. показали связь разрыва АСБ с повышенной частотой сердечных приступов и отсутствием реперфузии после ЧКВ [3].

Отложение кальция в коронарных артериях коррелирует со степенью атеросклероза и вероятностью развития неблагоприятных сердечных событий. Кальций хорошо отражает ультразвук и не проникает внутрь кальциевых образований, таким образом бросая тень на более глубокие артериальные структуры. Атеросклеротическая бляшка с большим содержанием кальция отличается гиперэхогенностью, визуализируется ярче, чем адвентиция. Хотя ВСУЗИ служит эталонным способом обнаружения кальция, тем не менее, этот метод не может обнаружить кальций, скрытый за некротическими ядрами АСБ. Отложение кальция после инвазивных вмешательств может быть связано с такими осложнениями, как кровотечение, тромбоз стента, инфаркт миокарда и другими [2].

ВСУЗИ имеет преимущество перед коронарной ангиографией, которая обеспечивает только проекцию просвета сосуда и не позволяет визуализировать толщину сосудистой стенки или детальную геометрию просвета. Оценка гемодинамической значимости умеренного коронарного стеноза с уменьшением просвета более чем на 50% только лишь с помощью коронарной ангиографии достаточно затруднительна. ВСУЗИ дает возможность получить изображение стенки сосуда, оценить степень тяжести атеросклеротического поражения.

Метод ВСУЗИ эффективен для определения тяжести поражения коронарных артерий. Уменьшение размеров поперечного сечения коронарного сосуда при выполнении однофотонной эмиссионной компьютерной томографии хорошо согласуется с ФРК  $<0,75$ , резервом коронарного кровотока  $<2$  мл/мин/г и дефектами перфузии. Сравнимые результаты были получены и при использовании ВСУЗИ. Однако показатель ФРК более информативен, пороговое значение ФРК не зависит от размера сосуда и сильнее коррелирует с развитием неблагоприятных сердечно-сосудистых событий [4, 5]. ФРК – «золотой стандарт» оценки тяжести стеноза венечных артерий. В ряде исследований отмечена высокая корреляция между ФРК показателями ВСУЗИ. В частности, минимальная площадь просвета (МПП), равная  $4$  мм<sup>2</sup>, была предложена в качестве порогового значения для выявления значимых поражений коронарных сосудов. Минимальная площадь просвета МПП  $\geq 4$  мм<sup>2</sup> в 89% случаев совпадала с нормальным резервом коронарного кровотока  $>2,0$  [6]. В другой работе была отмечена корреляция МПП  $\leq 4$  мм<sup>2</sup> с ФРК  $<0,75$  [7]. Таким образом, в практике кардиолога МПП более  $4$  мм<sup>2</sup> позволяет идентифицировать

неишемические поражения без необходимости проведения реваскуляризации. Если МПП меньше этого порогового значения, следует применять другие методы и критерии (ФРК, МРК) для оценки полученных результатов. Для ствола левой коронарной артерии пороговое значение МПП принимается равным  $6$  мм<sup>2</sup> [2]. Выполнение ЧКВ под контролем ВСУЗИ позволяет снизить вероятность неоптимального разветвления стента, неполного покрытия атеросклеротического поражения стентом, диссекции сосудистой стенки, а также добиться увеличения минимальной площади просвета стента по сравнению с ангиографическим контролем. Исследования, в которых оптимизация стентирования осуществлялась под контролем ВСУЗИ, продемонстрировали снижение частоты ишемических событий у пациентов [1]. В мета-анализе, включившем 17882 пациента, продемонстрировано, что ЧКВ под контролем ВСУЗИ было связано с более низким риском смерти от всех причин, инфаркта миокарда и тромбоза стента. При этом не выявлено различий в сравнительной клинической эффективности между методами ОКТ и ВСУЗИ [8].

В настоящее время разрабатываются более совершенные модификации ВСУЗИ с использованием специальных вычислительных методов и алгоритмов, предоставляющих дополнительную информацию об уязвимости АСБ. Контрастирование (в качестве контраста используются микропузырьки) дает возможность оценить плотность неоваскуляризации внутри и вокруг атеросклеротического поражения. Метод виртуальной гистологии VH-IVUS (virtual histology – intravascular ultrasound imaging) на основании спектрального анализа обратного рассеяния ультразвуковых волн и математической трансформации радиочастотного сигнала в цветное изображение позволяет получить данные о пространственном распределении, гетерогенности и дисперсности каждого компонента (липиды, соединительная ткань, некротическое ядро, кальций) внутри АСБ и на ее границе. Виртуальная гистология при ВСУЗИ имеет некоторые ограничения в выявлении уязвимых (нестабильных) АСБ, которые являются субстратом развития ОКС. В частности, низкое пространственное разрешение ( $>100$  мкм) ограничивает визуализацию фиброатеромы с тонкой капсулой (ФАТК) [9]. Эффективность данного метода все еще требует гистопатологического подтверждения [2].

#### **Оптическая когерентная томография**

Оптическая когерентная томография относится к методам визуализации высокого разрешения с широким спектром показаний. В кардиологии ОКТ чаще всего используют для оценки уязвимых АСБ и неинтимального заживления после проведенного стентирования. Внедрение частотного анализа упростило технику ОКТ и дало возможность использовать метод наравне с ВСУЗИ для определения клинической тактики ведения пациента. Метод ОКТ позволяет получать подробное изображение внутреннего

просвета кровеносных сосудов, изучать морфологию коронарных АСБ, выявлять тромбы, разрывы интимы, определять структуру АСБ, толщину фиброзной покрышки, определять важные количественные параметры, необходимые врачам для решения вопроса о коронарном вмешательстве. Возможности ОКТ позволяют лучше идентифицировать кальциноз и неинтиму после установки стента, чем ВСУЗИ. ЧКВ под контролем ОКТ приводило к эквивалентным клиническим и ангиографическим результатам по сравнению с ЧКВ, проводимом под контролем ВСУЗИ [10].

Первая система ОКТ была предложена Джеймсом Фуджимото в 1991 г. [11]. Методика была разработана для неинвазивной визуализации поперечного сечения сосудов в биологических системах. ОКТ применяет низкокогерентную интерферометрию для получения двумерного изображения оптического рассеяния на микроструктурах тканей способом, который аналогичен ультразвуковой визуализации с импульсным эхом. Метод имеет высокое продольное и боковое пространственное разрешение и может обнаруживать даже незначительные отраженные оптические сигналы.

В начале 2000-х годов Yabushita и соавт. сделали первые снимки коронарного атеросклероза человека. Исследователи сравнили ОКТ-изображения атеросклеротических сегментов артерий с гистологическими данными 357 пациентов. Была продемонстрирована высокая чувствительность метода ОКТ: 98% для фиброзных АСБ; для АСБ с фиброкальцинатами – 97%, для АСБ, богатых липидами, – 90-92% [12].

Первая коммерческая доступная система ОКТ (M2 OCT Imaging System, LightLab Imaging, Inc., Westford, США) представлена в 2008 г. Однако для этой системы требовался проводной катетер с окклюзионным баллоном для получения непрерывных изображений. Позднее это ограничение было снято за счет разработки методов нового поколения, таких как системы оптической визуализации в частотной области (OFDI – optical frequency-domain imaging) [10].

ОКТ использует излучение в спектре ближнего инфракрасного света для создания изображения поперечного сечения коронарных артерий. Данный спектр представляет собой более высокочастотное и коротковолновое излучение по сравнению с ультразвуковым, следовательно, дает возможность получать в 10 раз более четкое разрешение, чем при использовании ВСУЗИ. При этом метод ОКТ характеризуется низким проникновением сигнала в ткани, не превышающим 1-3 мм. Таким образом, ОКТ дает более информативную и детальную картину, чем ВСУЗИ, но не позволяет просматривать стенку артерии на всю глубину. Наибольшее преимущество ОКТ имеет при оценке рестеноза в стенке, так как мягкая неоинтимальная АСБ часто не обнаруживается посредством ВСУЗИ [13].

На изображениях, полученных с помощью ОКТ, фиброзные АСБ определяются как области с относительно однородным интенсивным сиг-

налом. В структуре АСБ липиды визуализируются в виде участков со слабым сигналом и плохо очерченными границами. Кальцинированные АСБ содержат области слабого сигнала с резко очерченной верхней или нижней границами. Разрешающая способность ОКТ позволяет надежно идентифицировать уязвимые АСБ по характерным признакам: большому некротическому ядру, тонкой фиброзной капсуле, неоангиогенезу, воспалительным изменениям в покрышке АСБ [14]. На изображениях ОКТ некротическое ядро характеризуется областью со слабым сигналом и плохо очерченными границами, напоминающая картину липидного ядра. Неоангиогенез определяется как маленькие черные дыры или микроканалы в стенке сосуда, которые идут от адвентиции и не сообщаются с просветом сосуда. Тем не менее, ОКТ имеет небольшую чувствительность и специфичность в выявлении неоваскуляризации АСБ – 52 и 68%, соответственно [15, 10]. Эрозивные АСБ – еще одна причина коронаротромбоза. Достоверная ОКТ-эрозия характеризуется наличием тромба на интактной фиброзной покрышке, а вероятная – неровностью интимы при отсутствии тромбоза [10, 16].

Предполагалось, что с помощью ОКТ можно идентифицировать макрофаги и пенные клетки в виде пятен с высокой интенсивностью сигнала. Однако Phipps и соавторы показали, что сигнал в зоне с предполагаемым скоплением макрофагов только в 23% случаев обусловлен непосредственно клетками воспаления. В других случаях яркий сигнал был обусловлен утолщением интимы или начальным повреждением сосудистой стенки с высоким содержанием гладкомышечных клеток и протеогликанов в данной зоне, границей между соединительнотканым компонентом и депозитами кальция, депозитами кальция и липидов, фиброзной капсулой и липидным ядром. Более того, чем больше макрофаги накапливают липиды, трансформируясь в пенные клетки, тем в меньшей степени их индекс преломления отличается от липидного ядра, которое дает слабый сигнал [17]. Точность характеристики микроструктуры и химического состава АСБ, выявления неоангиогенеза и воспалительных изменений, а также напряжения сдвига на эндотелии увеличивается при гибридной визуализации – использовании ОКТ в комбинации с КАГ, КТ-ангиографией, а также такими перспективными методами, которые пока не применяются в рутинной практике, как спектроскопия с определением времени жизни флюоресценции, спектроскопия и флюоресценция в ближнем инфракрасном диапазоне. Эффективность различается в зависимости от задачи, например, ОКТ в сочетании с КАГ или КТ-ангиографией позволяет точно оценивать толщину покрышки АСБ и напряжение сдвига на эндотелии, ОКТ и флюоресценция в ближнем инфракрасном диапазоне – воспалительные изменения, ОКТ и спектроскопия в ближнем инфракрасном диапазоне – липидное ядро и толщину покрышки [18].

Эрозии и разрыв АСБ, а также наличие кальцифицированного узла ведут к развитию коронаротромбоза – главной причины ОКС и внезапной сердечной смерти [15]. На изображениях ОКТ красный тромб определяется в виде выступа с неровными контурами, высокой гетерогенностью. Часть тромботических масс характеризуется высокой отражающей способностью, другая, большая часть массы тромба, отличается высокой поглощающей способностью, как следствие, позади тромботических масс образуется тень. Белый тромб визуализируется в виде гетерогенной массы с неровными контурами и высокой интенсивностью сигнала, затухание сигнала происходит медленнее. Кроме с соавторами предложили использовать расстояние, на котором сигнал снижается наполовину – для различения между типами тромбов. Значение более 250 мкм позволяет с чувствительностью 90% и специфичностью 88% дифференцировать белый тромб от красного [19].

При остром коронарном синдроме (ОКС) чувствительность ОКТ превышает ВСУЗИ, когда исследуется структура АСБ. Последние имеют большое значение для прогноза дальнейшего развития сердечной патологии. Высокое разрешение ОКТ дало возможность определить наличие атеромы с тонкой крышкой у 72% пациентов с ОКС и подъемом ST на ЭКГ, у 50% пациентов с ОКС без подъема ST и у 20% – со стабильной стенокардией [13]. Kubo и соавторами показано, что методом ОКТ в 73% случаев выявлялись разрывы АСБ у пациентов с ОКС и подъемом ST, в то время как методы ангиоскопии и ВСУЗИ их обнаруживали в 47 и 40%, соответственно [20]. Показано также, что чувствительность ВСУЗИ для обнаружения тромба составила 33%, а для ОКТ приближалась к 100%. Кроме того, исследование коронарных сосудов методами ВСУЗИ и ангиографии не выявило эрозию АСБ, а применение ОКТ обнаружило данную патологию в 23% случаев. Таким образом, ОКТ демонстрирует очевидное превосходство перед другими видами визуализации, достоверно определяя состояние венечных артерий и потенциальные риски, способные ухудшить дальнейшую судьбу пациента.

Использование ОКТ показано перед проведением стентирования коронарных сосудов. Важно получить предварительную информацию о типе тромба, наличии ФАТК, изъязвлении АСБ, поверхностной кальцификации, которые могут осложнить проведение процедуры. Метод ОКТ хорошо проявил себя в сочетании с ЧКВ. Вмешательства с контролем ОКТ демонстрировали более низкий риск смертности от сердечно-сосудистых заболеваний в течение года после проведенного вмешательства по сравнению с ангиографическим контролем (1,2% против 4,5%), а случаи сердечной смерти и острого инфаркта миокарда при ОКТ-контроле снижались в 2 раза [21]. Результаты ЧКВ с использованием ОКТ были аналогичны таковым при вмешательстве под контролем ВСУЗИ [10].

В случаях рестеноза ОКТ дает возможность определить локализацию неоинтимальной гиперплазии в области стента: она определяется в пределах 500 мкм от поверхности сосуда. Если необходимо провести реканализацию, метод помогает оценить выраженность фиброзных и кальцифицирующих наложений, субинтимальную позицию проволоки стента, дистальные иссечения, двойные каналы. После установки стента ОКТ автоматически измеряет минимальную площадь стента и площадь просвета контрольного сосуда, давая оценку достигнутого расширения и размеров стента. В случае неполного наложения стента (тромбоз) ОКТ позволяет быстро диагностировать даже незначительную степень аппозиции. Кроме того, данное исследование может выявлять субклинические сосудистые травмы (диссекции, микродиссекции), перфорацию проволокой, возникшие в результате стентирования [10, 13].

Решение о коронарном вмешательстве принимается в соответствии со следующими критериями ОКТ: минимальная площадь поперечного просвета сосуда  $<3,5 \text{ мм}^2$ ; наличие тромба [13]. Преимущество ОКТ перед ВСУЗИ при проведении коронарного вмешательства не доказано. Долгое время ВСУЗИ считалось классическим инструментом оценки неоинтимальной гиперплазии, однако ему не хватает осевого разрешения. ОКТ стал лучшим методом визуализации полноты неоинтимального охвата при установке стента.

#### *Сравнение методов внутрисосудистой визуализации*

Несмотря на то, что коронарная ангиография хорошо зарекомендовала себя, существует ряд случаев, когда данный метод не способен обеспечить качественную визуализацию. Речь может идти о перекрывающихся ракурсах сосудов, кальцинатах в сосудистой стенке и других случаях. Ангиография имеет определенные ограничения в способности характеризовать ткани и АСБ. Внутрисосудистое ультразвуковое исследование (ВСУЗИ) повышает информативность исследования, лучше визуализирует структуру стенки и морфологию АСБ, а также распределение отложений кальция [13]. Метод ОКТ дает наибольшее разрешение среди всех внутрисосудистых методов визуализации, делает возможным детальное исследование интересующих образований.

Разная эффективность рассмотренных методов определяется физическими параметрами используемых частот. Так, ВСУЗИ работает в частоте 40 МГц, в то время как ОКТ использует инфракрасный свет с длиной волны 1,3 мкм, что обеспечивает детализацию мелких структур, но в то же время приводит к низкому проникновению в ткани. Кроме того, применение ОКТ требует клиренса крови. Это обусловлено тем, что диаметр эритроцита в среднем составляет 7-8 мкм, что больше используемой длины волны. Комбинация наилучшего разрешения и клиренса крови позволяет лучше визуализировать

промежуток между поверхностью АСБ и внутренним просветом сосуда. При этом создаются условия для точного автоматического измерения просвета. В случае ВСУЗИ такая идентификация затруднена.

Еще одно преимущество ОКТ – хорошая воспроизводимость измерений, что важно не только в клинической практике, но и в научных исследованиях. С другой стороны, ВСУЗИ способно обеспечивать видимость сосудистой стенки на всю ее толщину, измерять параметры сосуда для определения размера стента, который планируется установить: это снижает риски перфорации сосуда впоследствии. При выполнении ОКТ часто невозможно выяснить истинный размер сосуда в месте поражения и операторы прогнозируют размер стента в соответствии с «эталонным» диаметром просвета. Техника оценки размеров сосуда посредством ОКТ все еще продолжает развиваться и совершенствоваться [22]. Изучается возможность гибридной внутрисосудистой визуализации ВСУЗИ и ОКТ с тем, чтобы преодолеть ограничения каждого из методов [18].

#### ***Инвазивные методы диагностики значимости сосудистых стенозов***

Наличие и выраженность ишемии миокарда влияет на исход сердечно-сосудистых заболеваний, поэтому их оценка чрезвычайно важна. Усилия, направленные на повышение точности оценки значимости стенозирования коронарных артерий, привели к разработке новых методов, которые служат основой для планирования клинической стратегии в отношении пациента с ИБС.

Фракционный резерв кровотока – распространенный метод оценки тяжести коронарного стеноза, который рассчитывается на основании измеренного давления в сосуде дистальнее места стеноза (Pd) и давления в неизменном сосуде, к которому условно приравнивают давление в аорте (Pa). Отношение Pd/Pa и будет искомым величиной [23].

Для вычисления ФРК проводят измерение давления посредством внутрикоронарного гибкого ФРК-проводника с датчиком давления. Измерение осуществляют в течение полного сердечного цикла после достижения максимальной гиперемии, индуцированной введением вазодилататоров. В западной медицине для выполнения вазодилатации обычно используют аденозин, который не всегда хорошо переносится пациентами и является дорогостоящим препаратом. В Республике Беларусь и в Российской Федерации метод расчета ФРК используется не часто и для его определения пациентам вводят папаверин [24].

Необратимая ишемия миокарда наблюдается при ФРК  $\leq 0,75$ . До недавнего времени пороговое значение для ишемии миокарда варьировало в диапазоне ФРК, равном 0,75-0,80 [25, 26]. Европейское общество кардиологов в 2014 г. рекомендовало ориентироваться на значение ФРК  $>0,8$  для принятия решения о проведении ЧКВ

для устранения стенозов, таким образом упраздняя использование «серой зоны» [27].

В исследовании FAME (Fractional Flow Reserve Versus Angiography for Multivessel Evaluation) проводили сравнение двух групп пациентов со стабильной ИБС и многососудистым поражением. В одной группе для оценки стеноза применяли стандартную ангиографию и анатомическую оценку стеноза – реваскуляризацию поражений выполняли при стенозировании  $>50\%$ . В другой группе для оценки стеноза использовали ФРК  $\leq 0,80$  в качестве критерия для ангиопластики. Через год после вмешательства частота первичной конечной точки (смерть от всех причин, ИМ, повторная реваскуляризация) была ниже в группе пациентов, у которых показания к реваскуляризации определялись по ФРК, по сравнению с группой, в которой использовали только ангиографический контроль (13,2 и 18,3%, соответственно). Кроме того, применение ФРК позволило снизить количество случаев стентирования и уменьшить затраты на лечение [28]. Таким образом, было показано превосходство ФРК перед ангиографическим методом диагностики гемодинамически значимых стенозов.

В исследовании FAME 2 выяснялось, есть ли преимущества ЧКВ в сочетании с медикаментозной терапией при гемодинамически значимых стенозах (ФРК  $\leq 0,80$ ) по сравнению с оптимальной медикаментозной терапией без реваскуляризации у пациентов со стабильной ИБС. Использование ФРК позволило снизить риск первичной комбинированной точки, включая смертность от всех причин, ИМ и необходимость экстренной реваскуляризации, в сравнении с оптимальной медикаментозной терапией – 4,3 и 12,7%, соответственно (относительный риск [ОР] 0,32; 95% доверительный интервал [ДИ] 0,19-0,53). Это было достигнуто преимущественно за счет снижения случаев экстренной реваскуляризации – 1,6 и 11,1%, соответственно (ОР 0,13; 95% ДИ 0,06-0,30) [28]. На основании этих результатов очевидно, что измерение ФРК дает возможность более адекватно подходить к выбору клинической стратегии.

Для диагностики и оценки распространенности ишемии миокарда при поражении коронарной артерии также может быть использована методика измерения ФРК в ходе коронарной КТ-ангиографии (КТ-ФРК). Существует достоверная корреляция между значениями КТ-ФРК и стандартного измерения ФРК, однако из-за недостаточного объема исследований метод КТ-ФРК не включен в список рекомендуемых в клинической практике [29].

В настоящее время ФРК – самый надежный критерий для оценки обратимости ишемии, обусловленной сужением коронарных сосудов. Применение ФРК позволило оптимизировать принятие решений о проведении реваскуляризации. Тем не менее, данный метод включает прием аденозина, который не всегда хорошо переносится и не лицензирован в некоторых странах. Это ограничивает использование ФРК. В последние годы в качестве альтернативы развитие

получило измерение мРК, не требующее введения аденозина для создания гиперемии. Техника выполнения данного измерения осуществляется с использованием ФРК-проводника. При этом не индуцируют вазодилатацию и определяют давление только в стадии диастолы в безволновой период, когда величина сосудистого сопротивления остается постоянной. Как и при измерении ФРК, фиксируют давление в аорте и дистальное стеноза сосуда. Преимущество мРК заключается в отсутствии необходимости в применении вазодилататоров [29].

Berry и соавторы выполнили мета-анализ исследований DEFINE-FLAIR (Functional Lesion Assessment of Intermediate Stenosis to Guide Revascularisation) и iFR-SWEDE-HEART (Instantaneous Wave-free Ratio versus Fractional Flow Reserve in Patients with Stable Angina Pectoris or Acute Coronary Syndrome) с общим числом пациентов 4345 для сравнения методов ФРК и мРК. На основании измеренных уровней ФРК или мРК пациенты были направлены на реваскуляризацию. В течение 12 месяцев после рандомизации у 3,68% пациентов были зафиксированы случаи кардиальной смерти или ИМ. В группе мРК зарегистрировано больше случаев ИМ и летального исхода, но значимых различий не получено. Отмечено также, что клиническая стратегия, базирующаяся на мРК, приводила к более редкому применению ЧКВ или коронарного шунтирования [30]. Ретроспективный анализ исследования iFR-SWEDEHEART показал, что измерение ФРК или мРК в 40% случаев у пациентов как с хроническими, так и с острыми формами ИБС, которым была выполнена коронароангиография, позволяет изменить тактику ведения (оптимальная медикаментозная терапия, ЧКВ, аортокоронарное шунтирование). Большинство изменений было связано с отказом от ЧКВ в пользу оптимальной медикаментозной терапии [31].

В качестве порогового значения мРК принимают уровень  $\leq 0,89$ . Лечение стабильной ИБС с использованием ФРК  $\leq 0,80$  или мРК  $\leq 0,89$  приводит к эквивалентным результатам для обеих методик. Однако эти значения до сих пор оспариваются. Modi и соавторы утверждают, что диагностические пороговые значения для ФРК и мРК составляют 0,75 и 0,86, соответственно, поскольку обеспечивают более высокую диагностическую точность [32]. До сих пор не опубликованы исследования, в которых сравнивалась эффективность реваскуляризации миокарда на основе мРК-оценки стеноза коронарных артерий и оценки методом коронарографии; мРК не валидизирован для интерпретации стеноза левой коронарной артерии. Согласно рекомендациям Европейского общества кардиологов (ESC) и Европейской ассоциации кардиоторакальной хирургии (EACTS), для оценки тяжести пора-

жения ствола левой коронарной артерии следует применять ВСУЗИ (класс рекомендаций IIa, уровень доказательности B) [29].

Исследование SYNTAX II показало, что решение о проведении коронарного шунтирования должно базироваться не только на сосудистой анатомии, но и на клинических параметрах, включенных в оценку SYNTAX II. Применение в числе прочих методов ФРК или мРК способствует улучшению клинических результатов ЧКВ. Более длительное наблюдение за пациентами поможет определить, насколько безопасно откладывать коронарное вмешательство на основе данных инвазивной оценки ишемии миокарда [33].

В клинических рекомендациях ESC и EACTS по реваскуляризации миокарда (2018 г.) роль ФРК и мРК в оценке гемодинамической значимости стенозов коронарных артерий сводится к случаям, когда с помощью неинвазивных стресс-тестов ишемия миокарда не была выявлена (класс рекомендаций I, уровень доказательности A). У пациентов с многососудистым поражением следует рассмотреть выполнение ЧКВ, ориентируясь на измерения ФРК (класс рекомендаций IIa, уровень доказательности B) [29].

### **Заключение**

Быстрое развитие технологий оказало значительное влияние на методы визуализации при исследовании коронарных сосудов. В настоящее время можно не только измерять просвет сосуда и внутрикоронарную гемодинамику, но и подробно характеризовать структуру стенки артерии и АСБ. В последнем случае кардиолог может оценить перспективы дальнейшего развития событий в случае обнаружения уязвимой АСБ, которая может стать пусковым механизмом тромбообразования в коронарных артериях и причиной острой ишемии миокарда. Рассмотренные методы ВСУЗИ и ОКТ оказались особо эффективными, поскольку данные, полученные с их помощью, обладают высоким прогностическим потенциалом и способствуют значительному снижению смертности пациентов, перенесших ЧКВ.

Использование ФРК и мРК позволило точнее оценивать результаты, полученные традиционными методами исследования коронарных сосудов. Принятые пороговые значения значительно упростили задачу кардиологов в планировании лечения пациентов с ИБС. Поскольку мнение о наиболее оптимальном уровне пороговых значений до сих пор активно обсуждается, существующие рекомендации следует интерпретировать как ориентировочные, в совокупности с другими данными. Тем не менее, доступные в настоящее время диагностические технологии позволяют в подавляющем большинстве случаев правильно поставить диагноз, назначить соответствующее лечение и оценить прогноз пациентов с ИБС.

## Литература

1. Intracoronary Imaging. Part 1: Guidance and Optimization of Coronary Interventions. An Expert Consensus Document of the European Association of Percutaneous Cardiovascular Interventions / L. Räber [et al.] // *Eur. Heart J.* – 2018. – Vol. 39, № 35. – P. 3281-3300. – doi: 10.1093/eurheartj/ehy285.
2. Personalized Assessment of the Coronary Atherosclerotic Arteries by Intravascular Ultrasound Imaging: Hunting the Vulnerable Plaque / T. G. Papaioannou [et al.] // *J. Pers. Med.* – 2019. – Vol. 9, № 1. – P. 8. – doi: 10.3390/jpm9010008.
3. Impact of plaque rupture on infarct size in ST-segment elevation anterior acute myocardial infarction / I. Kusama [et al.] // *J. Am. Coll. Cardiol.* – 2007. – Vol. 50, № 13. – P. 1230-1237. – doi: 10.1016/j.jacc.2007.07.004.
4. Fractional Flow Reserve to Determine the Appropriateness of Angioplasty in Moderate Coronary Stenosis: A Randomized Trial / G. J. Bech [et al.] // *Circulation.* – 2001. – Vol. 103, № 24. – P. 2928-2934. – doi: 10.1161/01.cir.103.24.2928.
5. Fractional Flow Reserve Versus Angiography for Guiding Percutaneous Coronary Intervention / P. A. Tonino [et al.] // *N. Engl. J. Med.* – 2009. – Vol. 360, № 3. – P. 213-224. – doi: 10.1056/NEJMoa0807611.
6. Clinical, intravascular ultrasound, and quantitative angiographic determinants of the coronary flow reserve before and after percutaneous transluminal coronary angioplasty / A. Abizaid [et al.] // *Am. J. Cardiol.* – 1998. – Vol. 82, № 4. – P. 423-428. – doi: 10.1016/S0002-9149(98)00355-5.
7. Intravascular ultrasound criteria for the assessment of the functional significance of intermediate coronary artery stenoses and comparison with fractional flow reserve / C. Briguori [et al.] // *Am. J. Cardiol.* – 2001. – Vol. 87, № 2. – P. 136-141. – doi: 10.1016/S0002-9149(00)01304-7.
8. 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 / S. Buccheri [et al.] // *JACC Cardiovasc. Interv.* – 2017. – Vol. 10, № 24. – P. 2488-2498. – doi: 10.1016/j.jcin.2017.08.051.
9. Analysis of Cardiovascular Tissue Components for the Diagnosis of Coronary Vulnerable Plaque from Intravascular Ultrasound Images / J. H. Lee [et al.] // *J. Healthc. Eng.* – 2017. – Vol. 2017. – Art. 9837280. – doi: 10.1155/2017/9837280.
10. Kume, T. Current Clinical Applications of Coronary Optical Coherence Tomography / T. Kume, S. Uemura // *Cardiovasc. Interv. Ther.* – 2018. – Vol. 33, № 1. – P. 1-10. – doi: 10.1007/s12928-017-0483-8.
11. Optical Coherence Tomography / D. Huang [et al.] // *Science.* – 1991. – Vol. 254, № 5035. – P. 1178-1181. – doi: 10.1126/science.1957169.
12. Characterization of Human Atherosclerosis by Optical Coherence Tomography / H. Yabushita [et al.] // *Circulation.* – 2002. – Vol. 106, № 13. – P. 1640-1645. – doi: 10.1161/01.CIR.0000029927.92825.F6.
13. Optical Coherence Tomography From Research to Practice / J. L. Gutiérrez-Chico [et al.] // *Eur. Heart J. Cardiovasc. Imaging.* – 2012. – Vol. 13, № 5. – P. 370-384. – doi: 10.1093/ehjci/jes025.
14. Lessons From Sudden Coronary Death: A Comprehensive Morphological Classification Scheme for Atherosclerotic Lesions / R. Virmani [et al.] // *Arterioscler. Thromb. Vasc. Biol.* – 2000. – Vol. 20, № 5. – P. 1262-1275. – doi: 10.1161/01.atv.20.5.1262.
15. Detection of Plaque Neovascularization by Optical Coherence Tomography: Ex Vivo Feasibility Study and In Vivo Observation in Patients With Angina Pectoris / K. Teruyoshi // *J. Invasive Cardiol.* – 2016. – Vol. 28, № 1. – P. 17-22.
16. In Vivo Diagnosis of Plaque Erosion and Calcified Nodule in Patients With Acute Coronary Syndrome by Intravascular Optical Coherence Tomography / H. Jia [et al.] // *J. Am. Coll. Cardiol.* – 2013. – Vol. 62, № 19. – P. 1748-1758. – doi: 10.1016/j.jacc.2013.05.071.
17. Macrophages and intravascular OCT bright spots: a quantitative study. / J. E. Phipps [et al.] // *JACC Cardiovasc. Imaging.* – 2015. – Vol. 8, № 1. – P. 63-72. – doi: 10.1016/j.jcmg.2014.07.027.
18. Hybrid intravascular imaging: recent advances, technical considerations, and current applications in the study of plaque pathophysiology / C. V. Bourantas [et al.] // *Eur. Heart J.* – 2017. – Vol. 38, № 6. – P. 400-412. – doi: 10.1093/eurheartj/ehw097.
19. Assessment of coronary arterial thrombus by optical coherence tomography / T. Kume [et al.] // *Am. J. Cardiol.* – 2006. – Vol. 97, № 12. – P. 1713-1717. – doi: 10.1016/j.amjcard.2006.01.031.
20. Assessment of culprit lesion morphology in acute myocardial infarction: ability of optical coherence tomography compared with intravascular ultrasound and coronary angiography / T. Kubo [et al.] // *J. Am. Coll. Cardiol.* – 2007. – Vol. 50, № 10. – P. 933-939. – doi: 10.1016/j.jacc.2007.04.082.
21. 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 / F. Prati [et al.] // *EuroIntervention.* – 2012. – Vol. 8, № 7. – P. 823-829. – doi: 10.4244/EIJV8I7A125.
22. IVUS-Guided Versus OCT-Guided Coronary Stent Implantation: A Critical Appraisal / A. Maehara [et al.] // *JACC Cardiovasc. Imaging.* – 2017. – Vol. 10, № 12. – P. 1487-1503. – doi: 10.1016/j.jcmg.2017.09.008.
23. Virtual Resting Pd/Pa From Coronary Angiography and Blood Flow Modelling: Diagnostic Performance Against Fractional Flow Reserve / M. I. Papafaklis [et al.] // *Heart. Lung Circ.* – 2018. – Vol. 27, № 3. – P. 377-380. – doi: 10.1016/j.hlc.2017.03.163.
24. Миронов, В. М. Оценка фракционного резерва коронарного кровотока / В. М. Миронов, Е. В. Меркулов, А. Н. Самко // *Кардиология.* – 2012. – Т. 52, № 8. – С. 66-67.
25. Significance of Intermediate Values of Fractional Flow Reserve in Patients With Coronary Artery Disease / J. Adgej [et al.] // *Circulation.* – 2016. – Vol. 133, № 5. – P. 502-508. – doi: 10.1161/CIRCULATIONAHA.115.018747.
26. Relationship Between Reversibility Score on Corresponding Left Ventricular Segments and Fractional Flow Reserve in Coronary Artery Disease / B. Krackó [et al.] // *Anatol. J. Cardiol.* – 2015. – Vol. 15, № 6. – P. 469-474. – doi: 10.5152/akd.2014.5500.
27. 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) / S. Windecker [et al.] // *Eur. Heart J.* – 2014. – Vol. 35, № 37. – P. 2541-2619. – doi: 10.1093/eurheartj/ehu278.
28. Heyndrickx, G. R. The FAME Trials: Impact on Clinical Decision Making / G. R. Heyndrickx, G. G. Tóth // *Interv. Cardiol.* – 2016. – Vol. 11, № 2. – P. 116-119. – doi: 10.15420/icr.2016:14:3.
  29. 2018 ESC/EACTS Guidelines on myocardial revascularization / F.-J. Neumann [et al.] // *Eur. Heart J.* – 2019. – Vol. 40, № 2. – P. 87-165. – doi: 10.1093/eurheartj/ehy394.
  30. Berry, C. Meta-Analysis of Death and Myocardial Infarction in the DEFINE-FLAIR and iFR-SWEDEHEART Trials / C. Berry, J. D. McClure, K. G. Oldroyd // *Circulation.* – 2017. – Vol. 136, № 24. – P. 2389-2391. – doi: 10.1161/CIRCULATIONAHA.117.030430.
  31. Reclassification of Treatment Strategy With Instantaneous Wave-Free Ratio and Fractional Flow Reserve: A Substudy From the iFR-SWEDEHEART Trial / P. Andell [et al.] // *JACC Cardiovasc. Interv.* – 2018. – Vol. 11, № 20. – P. 2084-2094. – doi: 10.1016/j.jcin.2018.07.035.
  32. Revisiting the Optimal FFR and iFR Thresholds for Predicting the Physiological Significance of Coronary Artery Disease / B. N. Modi [et al.] // *Circ. Cardiovasc. Interv.* – 2018. – Vol. 11, № 12. – P. e007041. – doi: 10.1161/CIRCINTERVENTIONS.118.007041.
  33. The everlasting dispute between coronary bypass and angioplasty in patients with multivessels coronary artery disease: results of the SYNTAX II study / C. Indolfi [et al.] // *Eur. Heart J. Suppl.* – 2019. – Vol. 21, suppl. B. – P. 55-56. – doi: 10.1093/eurheartj/suz019.
- ### References
1. Räber L, Mintz GS, Koskinas KC, Johnson TW, Holm NR, Onuma Y. 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/eurheartj/ehy285.
  2. Papaioannou TG, Kalantzis C, Katsianos E, Sanoudou D, Vavuranakis M, Tousoulis D. Personalized Assessment of the Coronary Atherosclerotic Arteries by Intravascular Ultrasound Imaging: Hunting the Vulnerable Plaque. *J. Pers. Med.* 2019;9(1):8. doi: 10.3390/jpm9010008.
  3. Kusama I, Hibi K, Kosuge M, Nozawa N, Ozaki H, Yano H, Sumita S, Tsukahara K, Okuda J, Ebina T, Umemura S, Kimura K. Impact of plaque rupture on infarct size in ST-segment elevation anterior acute myocardial infarction. *J. Am. Coll. Cardiol.* 2007;50(13):1230-1237. doi: 10.1016/j.jacc.2007.07.004.
  4. Bech GJ, De Bruyne B, Pijls NH, Muinck ED, Hoorntje JC, Escaned J, Stella PR, Boersma E, Bartunek J, Koolen JJ, Wijns W. Fractional Flow Reserve to Determine the Appropriateness of Angioplasty in Moderate Coronary Stenosis: A Randomized Trial. *Circulation.* 2001;103(24):2928-2934. doi: 10.1161/01.cir.103.24.2928.
  5. Tonino PA, Bruyne B, Pijls NHJ, Siebert U, Ikeno F, Veer M, Klauss V, Manoharan G, Engström T, Oldroyd KG, Lee PN, MacCarthy PA, Fearon WF. Fractional Flow Reserve Versus Angiography for Guiding Percutaneous Coronary Intervention. *N. Engl. J. Med.* 2009;360(3):213-224. doi: 10.1056/NEJMoa0807611.
  6. Abizaid A, Mintz GS, Pichard AD, Kent KM, Satler LF, Walsh CL, Popma JJ, Leon MB. Clinical, intravascular ultrasound, and quantitative angiographic determinants of the coronary flow reserve before and after percutaneous transluminal coronary angioplasty. *Am. J. Cardiol.* 1998;82(4):423-428. doi: 10.1016/S0002-9149(98)00355-5.
  7. Briguori C, Anzuini A, Airoidi F, Gimelli G, Nishida T, Adamian M, Corvaja N, Di Mario C, Colombo A. Intravascular ultrasound criteria for the assessment of the functional significance of intermediate coronary artery stenoses and comparison with fractional flow reserve. *Am. J. Cardiol.* 2001;87(2):136-141. doi: 10.1016/S0002-9149(00)01304-7.
  8. Buccheri S, Franchina G, Romano S, Puglisi S, Venuti G, D'Arrigo P, Fancaviglia B, Scalia M, Condorelli A, Barbanti M, Capranzano P, Tamburino C, Capodanno D. 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.
  9. Lee JH, Hwang YN, Kim GY, Shin ES, Kim SM. Analysis of Cardiovascular Tissue Components for the Diagnosis of Coronary Vulnerable Plaque from Intravascular Ultrasound Images. *J. Healthc. Eng.* 2017;2017:Art. 9837280. doi: 10.1155/2017/9837280.
  10. Kume T, Uemura S. Current Clinical Applications of Coronary Optical Coherence Tomography. *Cardiovasc. Interv. Ther.* 2018;33(1):1-10. doi: 10.1007/s12928-017-0483-8.
  11. Huang D, Swanson EA, Lin CP, Schuman JS, Stinson WG, Chang W, Hee MR, Flotte T, Gregory K, Puliafito CA, Fujimoto JG. Optical Coherence Tomography. *Science.* 1991;254(5035):1178-1181. doi: 10.1126/science.1957169.
  12. Yabushita H, Bouma BE, Houser SL, Aretz HT, Jang I, Schliendorf KH, Kauffman CR, Shishkov M, Kang D, Halpern EF, Tearney GJ. Characterization of Human Atherosclerosis by Optical Coherence Tomography. *Circulation.* 2002;106(13):1640-1645. doi: 10.1161/01.CIR.0000029927.92825.F6.
  13. Gutiérrez-Chico JL, Alegría-Barrero E, Teijeiro-Mestre R, Chan PH, Tsujioka H, de Silva R, Viceconte N, Lindsay A, Patterson T, Foin N, Akasaka T, Mario C. Optical Coherence Tomography From Research to Practice. *Eur. Heart J. Cardiovasc. Imaging.* 2012;13(5):370-384. doi: 10.1093/ehjci/jes025.
  14. Virmani R, Kolodgie FD, Burke AP, Farb A, Schwartz SM. Lessons From Sudden Coronary Death: A Comprehensive Morphological Classification Scheme for Atherosclerotic Lesions. *Arterioscler. Thromb. Vasc. Biol.* 2000;20(5):1262-1275. doi: 10.1161/01.atv.20.5.1262.
  15. Kume T, Okura H, Yamada R, Koyama T, Fukuhara K, Kawamura A, Imai K, Neishi Y, Uemura S. Detection of Plaque Neovascularization by Optical Coherence Tomography: Ex Vivo Feasibility Study and In Vivo Observation in Patients With Angina Pectoris. *J. Invasive Cardiol.* 2016;28(1):17-22.
  16. Jia H, Abtahian F, Aguirre AD, Lee S, Chia S, Lowe H, Kato K, Yonetsu T, Vergallo R, Hu S, Tian J, Lee H, Park SJ, Jang YS, Raffel OC, Mizuno K, Uemura S, Itoh T, Kakuta T, Choi SY, Dauerman HL, Prasad A, Toma C, McNulty I, Zhang S, et al. In Vivo Diagnosis of Plaque Erosion and Calcified Nodule in Patients With Acute Coronary Syndrome by Intravascular Optical Coherence Tomography. *J. Am. Coll. Cardiol.* 2013;62(19):1748-1758. doi: 10.1016/j.jacc.2013.05.071.



17. Phipps JE, Vela D, Hoyt T, Halaney DL, Mancuso JJ, Buja LM, Thomas RA, Milner E, Feldman MD. Macrophages and intravascular OCT bright spots: a quantitative study. *JACC Cardiovasc. Imaging.* 2015;8(1):63-72. doi:10.1016/j.jcmg.2014.07.027.
18. Bourantas CV, Jaffer FA, Gijzen FJ, van Soest G, Madden SP, Courtney BK, Fard AM, Tenekecioglu E, Zeng Y, van der Steen AFW, Emelianov S, Muller J, Stone PH, Marcu L, Tearney GJ, Serruys PW. Hybrid intravascular imaging: recent advances, technical considerations, and current applications in the study of plaque pathophysiology. *Eur. Heart J.* 2017;38(6):400-412. doi:10.1093/eurheartj/ehw097.
19. Kume T, Akasaka T, Kawamoto T, Ogasawara Y, Watanabe N, Toyota E, Neishi Y, Sukmawan R, Sadahira Y, Yoshida K. Assessment of coronary arterial thrombus by optical coherence tomography. *Am. J. Cardiol.* 2006;97(12):1713-1717. doi:10.1016/j.amjcard.2006.01.031.
20. Kubo T, Imanishi T, Takarada S, Kuroi A, Ueno S, Yamano T, Tanimoto T, Matsuo Y, Masho T, Kitabata H, Tsuda K, Tomobuchi Y, Akasaka T. Assessment of culprit lesion morphology in acute myocardial infarction: ability of optical coherence tomography compared with intravascular ultrasound and coronary angiography. *J. Am. Coll. Cardiol.* 2007;50(10):933-939. doi: 10.1016/j.jacc.2007.04.082.
21. Prati F, Di Vito L, Biondi-Zoccai G, Occhipinti M, La Manna A, Tamburino C, Burzotta F, Trani C, Porto I, Ramazzotti V, Imola F, Manzoli A, Materia L, Cremonesi A, Albertucci M. 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/EIJV8I7A125.
22. Maehara A, Matsumura M, Ali ZA, Mintz GS, Stone GW. 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.
23. Papafaklis MI, Muramatsu T, Ishibashi Y, Bourantas CV, Fotiadis DI, Brilakis ES, Garcia-Garcia HM, Escaned J, Serruys PW, Michalis LK. Virtual Resting Pd/Pa From Coronary Angiography and Blood Flow Modelling: Diagnostic Performance Against Fractional Flow Reserve. *Heart. Lung Circ.* 2018;27(3):377-380. doi: 10.1016/j.hlc.2017.03.163.
24. Mironov VM, Merkulov EV, Samko AN. Ocenka frakcionnogo rezerva koronarnogo krovotoka. *Kardiologija.* 2012;52(8):66-67. (Russian).
25. Adjedj J, De Bruyne B, Floré V, Di Gioia G, Ferrara A, Pellicano M, Toth GG, Bartunek J, Vanderheyden M, Heyndrickx GR, Wijns W, Barbato E. Significance of Intermediate Values of Fractional Flow Reserve in Patients With Coronary Artery Disease. *Circulation.* 2016;133(5):502-8. doi: 10.1161/CIRCULATIONAHA.115.018747.
26. Kracsó B, Garai I, Barna S, Szabó GT, Rác I, Kolozsvári R, Tar B, Jenei C, Varga J, Kőszegi Z. Relationship Between Reversibility Score on Corresponding Left Ventricular Segments and Fractional Flow Reserve in Coronary Artery Disease. *Anatol. J. Cardiol.* 2015;15(6):469-74. doi: 10.5152/akd.2014.5500.
27. Windecker S, Kolh P, Alfonso F, Collet J-P, Cremer J, Falk V, Filippatos G, Hamm C, Head SJ, Jüni P, Kappetein AP, Kastrati A, Knuuti J, Landmesser U, Laufer G, Neumann F-J, Richter DJ, Schauerte P, Uva MS, Stefanini GG, Taggart DP, Torracca L, Valgimigli M, Wijns W, Witkowski A, 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. Heart J.* 2014;35(37):2541-2619. doi: 10.1093/eurheartj/ehu278.
28. Heyndrickx GR, Tóth GG. The FAME Trials: Impact on Clinical Decision Making. *Interv. Cardiol.* 2016;11(2):116-119. doi: 10.15420/icr.2016.14.3.
29. Neumann FJ, Sousa-Uva M, Ahlsson A, Alfonso F, Banning AP, Benedetto U, Byrne RA, Collet JP, Falk V, Head SJ, Jüni P, Kastrati A, Koller A, Kristensen SD, Niebauer J, Richter DJ, Seferovic PM, Sibbing D, Stefanini GG, Windecker S, Yadav R, Zembala MO; ESC Scientific Document Group. 2018 ESC/EACTS Guidelines on myocardial revascularization. *Eur. Heart J.* 2019;40(2):87-165. doi: 10.1093/eurheartj/ehy394.
30. Berry C, McClure JD, Oldroyd KG. Meta-Analysis of Death and Myocardial Infarction in the DEFINE-FLAIR and iFR-SWEDEHEART Trials. *Circulation.* 2017;136(24):2389-2391. doi: 10.1161/CIRCULATIONAHA.117.030430.
31. Andell P, Berntorp K, Christiansen EH, Gudmundsdottir IJ, Sandhall L, Venetsanos D, Erlinge D, Fröbert O, Koul S, Reitan C, Götzberg M. Reclassification of Treatment Strategy With Instantaneous Wave-Free Ratio and Fractional Flow Reserve: A Substudy From the iFR-SWEDEHEART Trial. *JACC Cardiovasc Interv.* 2018;11(20):2084-2094. doi: 10.1016/j.jcin.2018.07.035.
32. Modi BN, Rahman H, Kaier T, Ryan M, Williams R, Briceno N, Ellis H, Pavlidis A, Redwood S, Clapp B, Perera D. Revisiting the Optimal FFR and iFR Thresholds for Predicting the Physiological Significance of Coronary Artery Disease. *Circ. Cardiovasc. Interv.* 2018;11(12):e007041. doi: 10.1161/CIRCINTERVENTIONS.118.007041.
33. Indolfi C, De Rosa S, Mongiardo A, Yasuda M, Torela D, Spaccarotella C. The everlasting dispute between coronary bypass and angioplasty in patients with multivessel coronary artery disease: results of the SYNTAX II study. *Eur. Heart. J. Suppl.* 2019;21(Suppl B):55-56. doi: 10.1093/eurheartj/suz019.

## PERCUTANEOUS CORONARY INTERVENTIONS: INTRAVASCULAR IMAGING AND ASSESSMENT OF INTRACORONARY HAEMODYNAMICS

<sup>1,2</sup>Chernyak A. A., <sup>1</sup>Dzeshka M. S., <sup>2</sup>Snezhitskiy V. A., <sup>1,2</sup>Yanushka A. V., <sup>1</sup>Maksimchik A. V.

<sup>1</sup>Grodno Regional Clinical Center of Cardiology, Grodno, Belarus

<sup>2</sup>Grodno State Medical University, Grodno, Belarus

---

*Conventional coronary angiography does not provide thorough information about the structure of atherosclerotic lesions and severity of vascular stenosis. Since their introduction in past decades, optical coherence tomography and intravascular ultrasound have demonstrated high diagnostic yield in patients with coronary heart disease, translated into improved clinical outcomes. The fractional flow reserve and instantaneous wave-free ratio have emerged as reliable criteria for assessment of hemodynamically significant lesions, and allowed a more tailored approach to myocardial revascularization. In the current paper, we aimed to review the main aspects of clinical utilization of invasive studies complementing coronary angiography and percutaneous coronary intervention.*

**Keywords:** intravascular ultrasound, optical coherence tomography, percutaneous coronary intervention, acute coronary syndrome, atherosclerotic plaque, fractional flow reserve, instantaneous wave-free ratio.

**For citation:** Chernyak AA, Dzeshka MS, Snezhitskiy VA, Yanushka AV, Maksimchik AV. Percutaneous coronary interventions: intravascular imaging and assessment of intracoronary haemodynamics. *Journal of the Grodno State Medical University.* 2020;18(5):513-522. <http://dx.doi.org/10.25298/2221-8785-2020-18-5-513-522>.

---

**Конфликт интересов.** Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

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

**Об авторах / About the authors**

\*Черняк Александр Александрович / Chernyak Alexander, e-mail: [chernyak.evs@gmail.com](mailto:chernyak.evs@gmail.com), ORCID: 0000-0001-5017-9019

Дешко Михаил Сергеевич / Dzeshka Mikhail, e-mail: [mikhail.dzeshka@grsmu.by](mailto:mikhail.dzeshka@grsmu.by), ORCID: 0000-0002-8446-5651

Снежицкий Виктор Александрович / Snezhitskiy Viktor, e-mail: [snezh@grsmu.by](mailto:snezh@grsmu.by), ORCID: 0000-0002-1706-1243

Янушко Андрей Вячеславович / Janushka Andrey, e-mail: [kardio@mail.grodno.by](mailto:kardio@mail.grodno.by)

Максимчик Алексей Владимирович / Maksimchik Aleksej, e-mail: [kardio@mail.grodno.by](mailto:kardio@mail.grodno.by)

\* автор, ответственный за переписку / corresponding author

Поступила / Received: 24.06.2020

Принята к публикации / Accepted for publication: 18.09.2020