

УДК 616.12-009.861-089-073.75

DOI 10.31684/25418475-2021-4-67

ВОЗМОЖНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ВИЗУАЛИЗИРУЮЩИХ МЕТОДОВ РЕНТГЕНЭНДОВАСКУЛЯРНОЙ ХИРУРГИИ У ПАЦИЕНТОВ С ИБС

¹Алтайский краевой кардиологический диспансер, г. Барнаул

²Алтайский государственный медицинский университет, г. Барнаул

Сукманова И.А.^{1,2}, Гордеева Д.С.², Пинаева А.С.¹, Губаренко Е.Ю.¹

Рентгенэндоваскулярная хирургия – одна из основополагающих стратегий в лечении острого коронарного синдрома. Однако до настоящего времени одной из нерешенных проблем остается верификация ишемии миокарда, уточнение показаний к отбору пациентов на проведение эндоваскулярного вмешательства. В обзоре представлены основные интервенционные эндоваскулярные методы диагностики ишемии миокарда. Проанализирован опыт их практического применения в диагностике ишемической болезни сердца, а также влияние на стратификацию риска сердечно-сосудистых осложнений и принятие решения о дальнейшей тактике ведения пациента в зависимости от клинической ситуации.

Ключевые слова: ишемическая болезнь сердца, острый коронарный синдром, фракционный резерв кровотока, коронарные артерии.

POSSIBILITIES OF USING IMAGING METHODS OF ENDOVASCULAR SURGERY IN PATIENTS WITH CORONARY ARTERY DISEASE

¹Altai Regional Cardiology Dispensary, Barnaul

²Altai State Medical University, Barnaul

I.A. Sukmanova^{1,2}, D.S. Gordeeva², A.S. Pinaeva¹, E.Yu. Gubarenko¹

Endovascular surgery is one of the main strategies for treating acute coronary syndrome.

One of the unsolved problems today is the verification of myocardial ischemia, clarification of indications for selecting patients for endovascular intervention. The review presents the main interventional endovascular methods for diagnosing myocardial ischemia.

We analyzed the experience of the practical application of these methods in the diagnosis of coronary heart disease, their influence on the stratification of the risk of cardiovascular complications and decision-making on the further tactics of patient management, depending on the clinical situation.

Key words: ischemic heart disease, acute coronary syndrome, fractional flow reserve, coronary arteries.

Список сокращений:

ВСУЗИ - внутрисосудистое ультразвуковое исследование, ИБС - ишемическая болезнь сердца, КА - коронарные артерии, КРК - коронарный резерв кровотока, КТ - компьютерная томография, МРК - моментальный резерв кровотока, ОКС - острый коронарный синдром, ОКТ - оптическая когерентная томография, ФРК - фракционный резерв кровотока, ЧКВ - чрескожное коронарное вмешательство, ЭКГ - электрокардиография, QFR - quantitative flow ratio (количественный коэффициент потока)

Актуальность

За последние десятилетия во всем мире неуклонно растет число больных с атеросклеротическим поражением коронарных артерий, прогрессирование которого приводит к развитию острой ишемии миокарда и фатальным осложнениям [1]. На сегодняшний день, рентгенэндоваскулярная хирургия стала основополагающей

стратегией в лечении острого коронарного синдрома (ОКС) и в РФ [2, 3]. Согласно федеральному проекту «Борьба с сердечно-сосудистыми заболеваниями», с целью снижения смертности от инфаркта миокарда количество рентген-эндоваскулярных вмешательств в лечебных целях должно увеличиться до 332,30 тыс. ед. к 2024 году. Кроме того, в последние годы появилась тенденция к расширению границ применения миниинвазивных методов реваскуляризации у пациентов со сложными типами поражения, такие как стенозы ствола левой коронарной артерии, бифуркационные стенозы [4]. Однако ввиду технических сложностей стентирования анатомически труднодоступных участков коронарных артерий, в рутинной практике зачастую наблюдается субоптимальный клинический результат, высокая частота рестенозов, развитие осложнений в виде пристеночного тромбоза, миграции стентов, полной диспозиции и необходимости проведения повторных хирургических вмешательств.

ческих вмешательств [5, 6]. Одной из нерешенных проблем остается верификация ишемии миокарда, уточнение показаний к отбору пациентов на проведение эндоваскулярного вмешательства для достижения и повышения клинического эффекта данного метода лечения [7, 8]. Все вышеперечисленное подтверждает необходимость более широкого внедрения в практическую кардиологию и совершенствование различных интервенционных эндоваскулярных методов диагностики.

Метод измерения миокардиального фракционного резерва кровотока и его модификации

В настоящее время, измерение индекса фракционного резерва кровотока (ФРК), основанного на анализе внутривенечного кровотока, является «золотым стандартом» верификации ишемии миокарда [9, 10]. Индекс ФРК – это отношение наибольшей скорости кровотока в пораженной артерии дистальнее стеноза к наибольшей скорости кровотока в этой

артерии проксимальнее стеноза (рис. 1). Определять ФРК можно не только измеряя скорости кровотока, но и оценивая разницу давления в коронарных артериях (КА) за стенозом и в аорте, так как при искусственно созданной гиперемии (усиление коронарной перфузии) скорость кровотока в КА становится прямо пропорциональной давлению [8, 11, 12]. Метод был разработан N. Pijls и B. De Bruyne в 90-х годах XX века [13]. В настоящее время определение ФРК – стандарт для функциональной оценки тяжести пограничного стенозирования коронарных артерий (50-70%) у пациентов с хроническим коронарным синдромом при отсутствии признаков ишемии при неинвазивном тестировании, или у больных с многосудистым поражением коронарных артерий. Оценка ФРК у данной группы пациентов позволяет стратифицировать риск сердечно-сосудистых осложнений и влияет на принятие решения о дальнейшей тактике ведения: хирургической или консервативной [9].

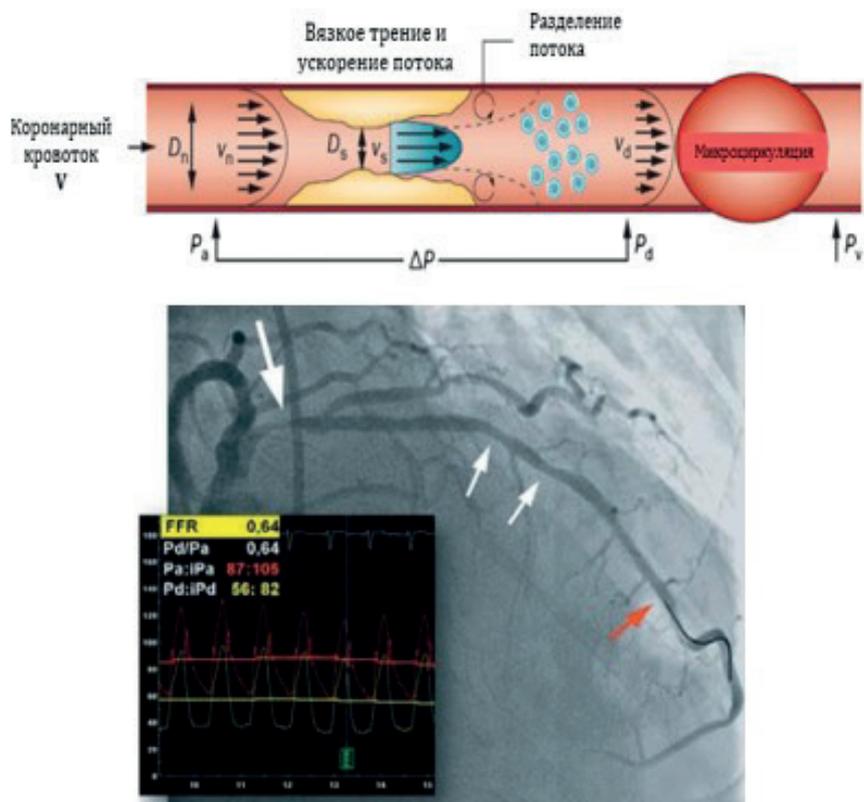


Рисунок 1 - Гемодинамические особенности измерения фракционного резерва кровотока. Ангиографическая визуализация анализа ФРК [47]

Примечание: Pa – проксимальное аортальное давление; Pd – коронарное давление (дистальнее стеноза); ΔP - это разница между Pd и Pa; Pv – венозное давление; Vd – скорость кровотока дистальнее стеноза; Vn – проксимальная скорость кровотока; Vs – скорость кровотока стенозированной области; Dn – нормальный диаметр; Ds – диаметр стеноза. Стеноз артерии высокой степени тяжести (большая белая стрелка), за которым следуют 2 стеноза средней степени тяжести в средней трети артерии (маленькие белые стрелки). Значение ФРК, определяемое путем сравнения давления в аорте (красная линия) и среднего давления в коронарной артерии дистальнее стеноза (желтая линия), составляет 0,64, что указывает на соответствующую ишемию. Красная стрелка показывает расположение датчика давления.

В клинических рекомендациях Минздрава РФ 2020 г. по ведению пациентов с ОКС без подъема сегмента ST впервые появляется упоминание о ФРК и рекомендации по измерению ФРК для уточнения функциональной значимости стеноза КА [2]. Длительное время считалось, что измерение ФРК перед проведением эндоваскулярной реваскуляризации у больных с ОКС приводит к худшему клиническому исходу [14, 15]. Однако многочисленные исследования опровергли эту гипотезу [16, 17]. Так, в исследовании DANAMI-3-PRIMULTI у пациентов с инфарктом миокарда с подъемом сегмента ST и многосудистым поражением коронарного русла после чрескожного коронарного вмешательства (ЧКВ), выполненного на инфарктсвязанной артерии, полная реваскуляризация, проводимая под контролем ФРК перед выпиской, значительно снижала риск будущих событий по сравнению с группой пациентов, у которых не проводилось повторного инвазивного вмешательства после первичного ЧКВ (13% против 22%) [16]. Таким образом, применение данного метода возможно при любых

клинических проявлениях ишемической болезни сердца (ИБС).

Методика измерения проводится с помощью интракоронарного ФРК-проводника с гибким кончиком и датчиком давления. Такие измерения осуществляются в течение всего сердечного цикла, предварительно создав миокардиальную гиперемия внутрикоронарным введением вазодилаторов [18]. В странах Европейского Союза, США с этой целью широко используется аденозин, в то время как в Российской Федерации папаверин [2, 4]. Однако стоит помнить, что применение данных групп препаратов сопряжено с риском возникновения нежелательных осложнений (в том числе вероятность развития жизнеугрожающих аритмий). В связи с этим, в последние годы стали появляться менее инвазивные методы оценки ФРК без использования вазодилаторов. Среди них особый интерес представляет определение количественного коэффициента потока (quantitative flow ratio – QFR), о котором говорит многоцентровое рандомизированное исследование FAVOR III [19].

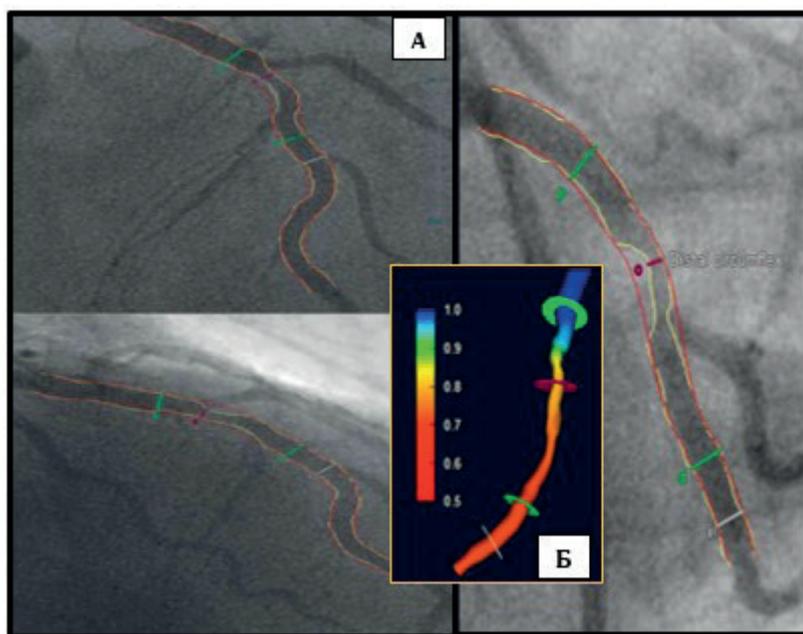


Рисунок 2 - Анализ количественного коэффициента потока (расхода) (quantitative flow ratio – QFR): 3D-реконструкция сосудов по данным коронароангиографии и оценка гидродинамики () (программа Medis Suite XA/QAn-gio XA 3D/QFR software (Medis, Leiden, the Netherlands). Проводят вычисление QFR по контурам сосуда, его просвета в двух стандартных ангиографических проекциях (А), скорости контрастного потока (имитация скорости гиперемированного потока) (Б) [48]

QFR позволяет в режиме онлайн оценивать ФРК без использования проводника с датчиком давления и фармакологических агентов для индуцирования гиперемии (что достигается в результате трехмерной реконструкции коронарной артерии и гидродинамики на основе ангиограммы) (рис. 2). Однако данный метод до настоящего времени не введен в рутинную практику специалистов, ввиду продолжающихся

исследований [20]. Таким образом, несмотря на продолжающийся поиск менее инвазивных методов оценки ФРК, на сегодняшний день его классический вариант остается преобладающим в рентгенэндоваскулярной практике.

До 2014 года индекс ФРК интерпретировался следующим образом: значение до 0,75 соответствовало гемодинамически значимому стенозу КА, значение 0,8 и выше функционально незна-

чимому стенозу, промежуток 0,75-0,8 «серой зоны» – наиболее трудной для достоверной верификации ишемии миокарда и принятия решения о проведении эндоваскулярного вмешательства [21]. Однако в 2014г. ESC/EACTS

в рекомендациях по реваскуляризации миокарда повысили порог гемодинамически значимого стеноза до 0,8 [12]. Таким образом, исчезли трудности интерпретации «серой зоны».

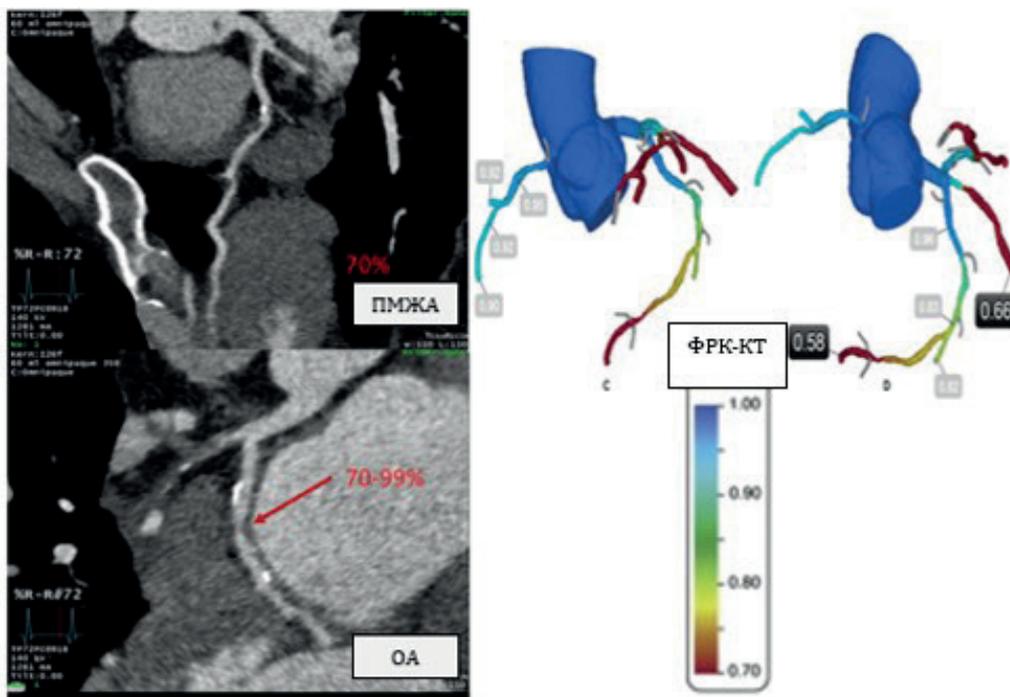


Рисунок 3 - Измерение ФРК при проведении коронарной компьютерной томографической (ФРК-КТ). Показаны гемодинамически значимые поражения, более 70 %, (стрелка) передней межжелудочковой артерии (ПМЖА) и огибающей артерии (ОА) [49]

Помимо инвазивного определения ФРК, проводимого во время коронароангиографии, широкий интерес представляет неинвазивная оценка ФРК коронарного русла при помощи компьютерной томографии (КТ-ФРК). (рис. 3). Нерандомизированные исследования SYNTAX II, PLATFORM подтвердили, что КТ-ФРК является таким же эффективным методом оценки ишемии, как и инвазивное измерение ФРК [22]. Исследования SYNTAX II и SYNTAX III Revolution подтверждают, что неинвазивная визуализация позволила достичь высокого стандартного уровня точности в оценке анатомии пораженной коронарной артерии и ее физиологической значимости с помощью КТ-ФРК у больных с многососудистыми поражениями. Также установлена достоверная корреляция между значениями КТ-ФРК и классического измерения ФРК: оба метода диагностики равнозначны при определении дальнейшей тактики ведения пациента [23].

Таким образом, метод измерения ФРК может применяться в широком диапазоне клинических ситуаций и позволяет объективно установить наличие ишемии миокарда (в том числе у пациентов с пограничными стенозами, наличием многососудистого поражения), принять решение о проведении интервенционного

лечения, что в результате уменьшает количество повторных реваскуляризаций, смертность, а также положительно влияет на экономическую составляющую.

Метод определения коронарного резерва кровотока

Концепция резерва коронарного кровотока была впервые введена Gould и др. в 1974 году, и стала основой для изучения и внедрения в клиническую практику остальных инвазивных методов диагностики ишемии миокарда. Изначально метод использовался в попытке определить патофизиологические механизмы болевых синдромов в груди у пациентов с нормальными эпикардиальными коронарными артериями (пациенты с синдромом X, микрососудистой стенокардией и дилатационной кардиомиопатией). Благодаря этому методу были изучены механизмы ауторегуляции в коронарном русле [24].

Индекс коронарного резерва кровотока (КРК) отражает отношение максимальной скорости кровотока в коронарном русле во время интракоронарной вазодилатации к скорости коронарного кровотока в покое. [25]. В качестве вазодилатирующих препаратов, вызывающих уменьшение периферического сопротивления

и гиперемию, применяются, в большинстве случаев, дипиридабол или аденозин. Одновременно, при наличии выраженного стеноза КА, после начала гиперемии значительного увеличения скорости венечного кровотока не происходит, так как перфузия уже компенсаторно увеличена, и резерв для его интенсификации отсутствует. Инвазивное измерение коронарного кровотока проводится с помощью внутрисосудистого доплеровского датчика [13]. В последние годы КРК стали измерять при проведении контрастной эхокардиографии миокарда, позитронно-эмиссионной томографии [7, 26]. Нормальным значением КРК является диапазон более 2,5-3,0, при гемодинамически значимом стенозе КА наблюдается снижение КРК менее 2,0 [25]. Анализируя индекс КРК можно оценить, как наличие, так и тяжесть ишемической болезни сердца. Однако данный метод имеет ряд ограничений: скорость кровотока переменна, взаимосвязана с уровнем системного артериального давления, индекс КРК зависит от состояния микроциркуляторного русла и не отражает характеристики тока крови в магистральных эпикардиальных артериях [4, 13]. В связи с этим, метод не получил широко-

го применения и чаще используется в экспериментальных исследованиях.

Метод определения моментального резерва кровотока

Моментальный резерв кровотока (МРК) – относительно новый метод оценки функциональной значимости стенозов, который не требует введения вазодилататоров [27]. Механизмы методов измерения МРК и ФРК во многом схожи. В результате того, что при определении МРК вазодилатирующие препараты не используются, значительно повышается безопасность метода для пациента [11]. Оценка МРК осуществляется при помощи ФРК-проводника и также анализируется отношение давления в аорте и давления дистальнее стеноза КА, однако если измерения ФРК проводятся во время всего сердечного цикла с использованием вазодилататоров, то при МРК давление измеряется в отдельном промежутке диастолы с наиболее стабильным и минимальным сопротивлением (безволновой период) и в отсутствии гиперемии. Так, при полученном значении МРК $\leq 0,89$ стеноз является гемодинамически значимым (рис. 4) [28].

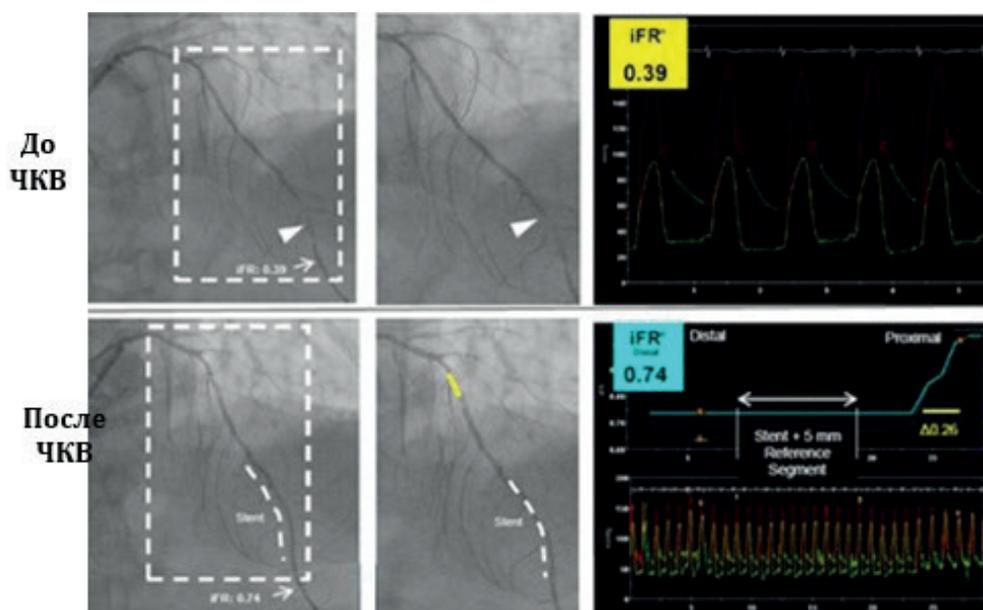


Рисунок 4 - Определение моментального резерва кровотока (iFR) у больного с выраженным стенозом передней межжелудочковой артерии [50]

В настоящее время использование метода измерения МРК в качестве диагностики значимой ишемии миокарда остается дискуссионным, а результаты, выводы различных исследований по изучению данного метода на практике не соответствуют друг другу. Так, в исследованиях CLARIFY, ADVISE была выявлена прямая корреляция между эффективностью ФРК и МРК, а также высокая специфичность и чувствительность метода МРК (91%, 85% соответственно) [8]. В то же время, в исследованиях других авторов

были представлены прямо противоположные результаты [29]. Данные RESOLVE и других исследований, суммируя результаты вышеописанных исследований, говорят о наличии средней корреляции между значениями ФРК и МРК; измерения МРК в реальном времени имеют хорошую прогностическую ценность по сравнению с ФРК, но умеренную диагностическую точность (82%) [30]. Исследования метода МРК продолжаются.

«Гибридный» протокол МРК/ФРК

С целью повышения специфичности и чувствительности диагностики ишемии миокарда был разработан протокол инвазивной оценки функциональной значимости стенозов КА: «гибридный» протокол МРК/ФРК [26]. Согласно этому протоколу, гемодинамически значимым является стеноз при значении МРК $\leq 0,85$, незначимым – при значении МРК $\geq 0,94$. В случае получения значений в диапазоне от 0,86 до 0,93, так называемая «серая зона», рекомендовано вторым этапом определять ФРК. Клиническое применение данного протокола было проанализировано в ряде исследований [28]. Так, в наиболее крупном исследовании ADVISE II (включены 598 больных ИБС с 46690 пограничными стенозами КА), авторами было установлено, что между данными МРК и ФРК имеется умеренная корреляция ($r=0,81$; $p<0,001$) [29]. Чувствительность и специфичность применения МРК, как самостоятельного метода с пороговым значением 0,89 составили 73,0% и 87,8%, соответственно, а при использовании МРК в рамках «гибридного» протокола – 90,7% и 96,2% соответственно [4].

Интересные результаты представлены в работе Faria D. et al. (включен 591 пациент), где оценивалось влияние возраста больных на данные ФРК и МРК. Оказалось, что значения ФРК увеличиваются с возрастом пациента ($r=0,08$, 95 % ДИ: от 0,01 до 0,15, $p=0,015$), в связи с тем, что с возрастом пациента гиперемическая реакция на вазодилататор (аденозин) уменьшается, в то время как значения МРК остаются постоянными во всем возрастном диапазоне ($r=-0,03$, 95% ДИ: от -0,11 до 0,04, $p=0,411$) [26,31]. На сегодняшний день, в рекомендациях ESC 2019 по диагностике и лечению хронического коронарного синдрома, пациентам с минимальными симптомами или без симптомов, принимающим медикаментозную терапию, рекомендуется проведение коронароангиографии с инвазивным физиологическим исследованием (ФРК/МРК), с последующим решением о реваскуляризации миокарда (уровень доказательности IA) [32,33].

Методы интракоронарной визуализации: внутрисосудистое ультразвуковое исследование и оптическая когерентная томография

С внедрением в клиническую практику коронарной ангиографии появлялись новые методы внутрикоронарной визуализации. На сегодняшний день в клинической практике используются 2 таких метода: внутрисосудистое ультразвуковое исследование (ВСУЗИ) и оптическая когерентная томография (ОКТ). Основным преимуществом внутрисосудистых методов визуализации является возможность

идентифицировать основные компоненты атеросклеротической бляшки и оценить степень ее неоваскуляризации [34].

Интраваскулярные ультразвуковые катетеры начали применяться при исследовании КА в конце 1980-х. В 1987 г. J. Mallery с соавт., в 1988 Р. Yock с соавт. и N. Pandian с соавт. при исследовании стенки сосуда получили поперечные изображения артерий. Ультразвуковой катетер оснащен датчиком, излучающим ультразвуковые волны перпендикулярные оси сосуда. При вращении датчика визуализируется вся окружность сосуда (360°) (рис.5) [35]. В последующие годы метод совершенствовался и видоизменялся, и на сегодняшний день изображения, получаемые при ВСУЗИ (ВСУЗИ с виртуальной гистологией) сопоставимы с гистологическими [36].

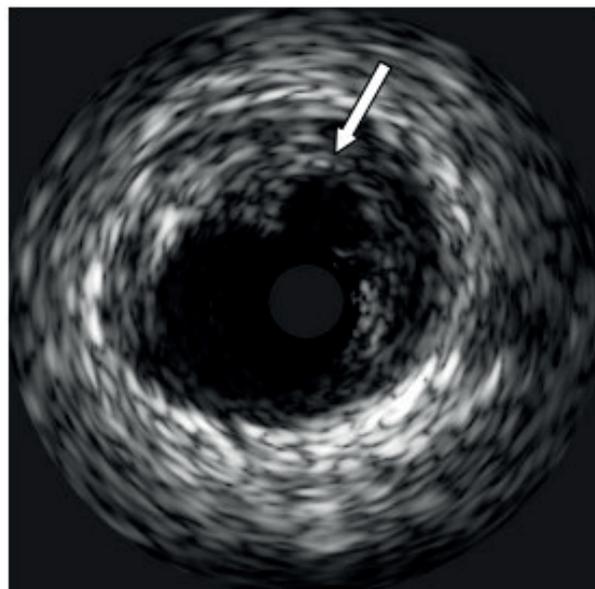


Рисунок 5 - Внутрисосудистое ультразвуковое исследование у больного с нестабильной бляшкой. Место разрыва атеросклеротической бляшки указано стрелкой.

Многочисленными исследованиями доказана эффективность использования ВСУЗИ для оптимизации позиционирования стентов, выявления уязвимых бляшек (исследование PROSPECT II), определения качественных характеристик атеросклеротических бляшек (включая оценку распространенности и эксцентричности бляшки, ее состав и объем, обнаружение разрывов, изъязвлений, внутренних кровотоков, тромботических масс, интрамуральных гематом, спонтанных диссекций КА, наличие кальциноза, состояние периваскулярных структур) [6, 37]. ВСУЗИ позволяет спрогнозировать возможные кардиоваскулярные осложнения опираясь на качественные характеристики атеросклеротической бляшки. Проведение ВСУЗИ безопасно, осложнения возникают менее чем в 0,5% случаев. Немаловажным является

специфичность метода ВСУЗИ в определении остаточного объема бляшки после проведения коронарного стентирования [22]. Доказана более высокая точность визуализации при проведении ВСУЗИ, по сравнению с ангиографией. В отличие от коронароангиографии, ВСУЗИ не зависит от проекции визуализации. Количественные измерения томографических изображений ВСУЗИ, которые проводятся в конце систолы (когда размеры артерии больше и более точны, а движение катетера минимально), позволяют более точно определить площадь просвета КА, длину поражения, по сравнению с ангиографией [38]. Дискутабельным остается вопрос об использовании ВСУЗИ как метода-контроля при ЧКВ для оптимизации постановки стента. Большинство исследований показывает, что ВСУЗИ-контроль при ЧКВ хотя и способствует снижению рестенозов и повторных реваскуляризаций, но не приводит к достоверной разнице по смертности и частоте развития инфаркта миокарда [22, 35, 39].

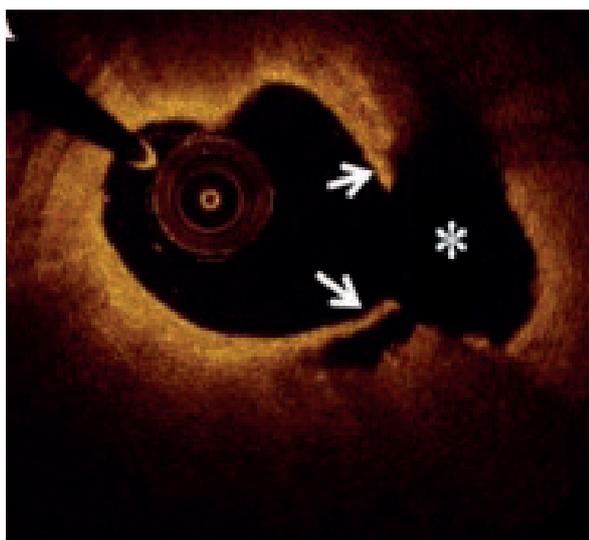


Рисунок 6 - Морфология атеросклеротической бляшки при остром коронарном синдроме по данным оптической когерентной томографии (ОКТ). Разрыв бляшки: разрыв фиброзной капсулы (стрелки) и образование полости внутри бляшки (звездочка) [7]

Оптическая когерентная томография – метод светооптической визуализации сосудистой стенки со сверхвысокой разрешающей способностью. Механизм метода основан на измерении времени задержки отраженного оптического излучения инфракрасного диапазона от тканей (рис.6) [40]. Было подтверждено, что изображения, получаемые при ОКТ, сопоставимы с данными гистологии соответствующей ткани. По сравнению с ВСУЗИ, ОКТ отличается большей осевой разрешающей способностью (10-20 (15) мкм и 150 мкм, соответственно), но меньшей глубиной проникновения сигнала (2,5 мм для ОКТ против 10-12 мм для ВСУЗИ). Таким

образом, ОКТ не способна определить объем бляшки относительно сосуда (который является одним из важных предикторов неблагоприятного прогноза) [7]. Однако исследования, в которых проводилось сравнение ВСУЗИ с виртуальной гистологией и ОКТ показали, что ВСУЗИ имеет более низкую прогностическую ценность в выявлении нестабильных бляшек по сравнению с ОКТ (46% и 59% соответственно) [18, 38]. Современные системы ОКТ (frequency domain OCT-FD-OCT), такие как Plumien III trial, оснащены дополнительными функциями, такими как 3D реконструкция сканированного сосуда, измерение ФРК для оценки функциональной значимости стеноза [41]. На сегодняшний день известны 2 крупных рандомизированных исследования, в которых сравнивалось ЧКВ с ОКТ-контролем и ЧКВ с ангиографией: DOCTORS trial5 и PLUMIEN III. Результаты исследования PLUMIEN III не показали превосходства проведения ЧКВ под контролем ОКТ по сравнению с ЧКВ под контролем ангиографии. Не было обнаружено различий минимальной площади стента после ЧКВ при сравнении этих двух групп ($p=0,12$). Также, при проведении ОКТ значительно больше было использовано контрастного вещества, чем при ВСУЗИ ($p=0,004$) и ангиографии ($p=0,001$), что создает потенциальные проблемы безопасности применения данного метода [42]. Кроме того, доля пациентов с 6-месячным MACE (major adverse cardiovascular events - основные неблагоприятные сердечно-сосудистые события) была достоверно выше в группе ЧКВ с ОКТ-контролем, чем в группе ЧКВ с ангиографией. Таким образом, ЧКВ с визуализацией (ОКТ, ВСУЗИ) может быть полезно в отдельных сложных случаях [18]. Данные рандомизированного исследования DOCTORS trial5 говорят о том, что у пациентов с ОКС без подъема сегмента ST ЧКВ под контролем ОКТ ассоциируется с более высоким ФРК после процедуры, повышая качество реваскуляризации, чем ЧКВ под контролем только ангиографии ($0,94\pm 0,04$ против $0,92\pm 0,05$, $P=0,005$). ОКТ не увеличивала риск возникновения перипроцедурных осложнений, развития инфаркта миокарда 4а типа (33 % в группе ОКТ против 40 % в группе, контролируемой ангиографией, $P=0,28$) или острого почечного повреждения [43].

В рекомендациях Российского кардиологического общества по стабильной ИБС (2020г.) сообщается, что ВСУЗИ/ ОКТ рекомендуется при хроническом коронарном синдроме у пациентов с поражением ствола левой КА при отсутствии возможности получения данных нагрузочного стресс-тестирования и/или определения функциональной значимости с помощью измерения ФРК, МРК и для оптимизации результатов стентирования ствола левой КА

(класс доказательности IIА (В) [44]. Также обнаружена слабая коррелятивная связь между минимальным поперечным сечением сосуда (при использовании ВСУЗИ) и показателем ФРК. В связи с этим использование ВСУЗИ для

оценки гемодинамической значимости стеноза не следует рассматривать [22, 42]. Существуют и недостатки в использовании ВСУЗИ и ОКТ (табл. 1).

Таблица 1

Недостатки методов интракоронарной визуализации

ВСУЗИ	ОКТ
- недоступность всех структурных компонентов АСБ - инвазивность - стоимость - низкая доступность - сложность выполнения	- низкая верификация устьевых поражений - введение контрастного вещества - инвазивность - низкая доступность

Таким образом, обе методики интраваскулярной визуализации (ВСУЗИ и ОКТ) признаются равноценными, использование этих методов возможно при наличии поражения ствола левой КА, хронической тотальной окклюзии, пролонгированных стенозах, ОКС, для уточнения неоднозначных данных коронароангиографии, в выявлении причин осложнений ЧКВ (недораскрытие стента, мальпозиция, краевые поражения, гематомы, диссекции, тромбозы, участки стенки артерии с липидной инфильтрацией), при исследовании новых устройств, стентов [12, 38].

Внутрисердечная электрокардиография из венечного синуса

Для большинства инвазивных методов диагностики ишемии миокарда характерно по-

лучение информации в отдельный момент времени. В 2018 году в Пироговском Центре академиком РАН Ю.Л. Шевченко предложен модифицированный способ инвазивной электрокардиографии (ЭКГ) с позиционированием электрода в коронарном синусе для контроля интраоперационной ишемии в эндоваскулярной хирургии [8]. Впервые же способ проведения интракоронарной ЭКГ для мониторинга миокардиальной ишемии был открыт Friedman P. et al. в 1986 г. Внутрисердечная ЭКГ из венечного синуса – рутинный метод интраоперационной верификации ишемии миокарда при помощи внутрисердечной, инвазивной электрокардиографии с использованием станции для электрофизиологического исследования (ЭФИ) путем катетеризации венечного синуса (рис. 7).

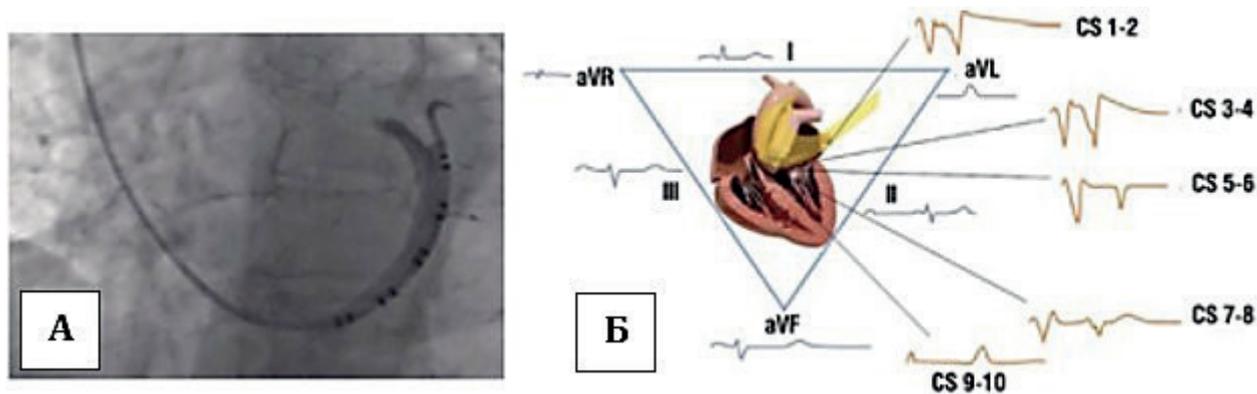


Рисунок 7 - Внутрисердечная электрокардиография из венечного синуса. Электрод в коронарном синусе (А). Электрокардиографические изображения, получаемых со стандартных, усиленных и эндоваскулярных отведений (CS) [8]

станция для электрофизиологического исследования и применение интракардиальных отведений позволяют с высокой точностью получать и анализировать данные ЭКГ. Данный метод позволяет определить степень и локализацию ишемии во всех сегментах коронарных артерий. Появляется возможность проводить непрерывный мониторинг ишемии на всех этапах эндоваскулярного вмешательства в коро-

нарном русле, а также оценить кровоснабжение миокарда после имплантации стента. Данный метод становится перспективным для изучения физиологии миокарда [45].

Заключение

На сегодняшний день актуальной и дискуссионной остается проблема оценки состояния коронарного русла при различных клиниче-

ских состояниях. За последние годы привнесён значительный вклад в развитие интервенционных рентгенэндоваскулярных методов, позволяющих не только диагностировать ИБС, но и стратифицировать риск сердечно-сосудистых осложнений, принять решение в пользу инвазивного вмешательства или продолжения оптимальной медикаментозной терапии [44]. Среди вышеописанных методов, определение ФРК у больных с ИБС в выявлении функционально значимых стенозов, на данный момент, становится «золотым стандартом» и основополагающим методом в принятии решения по реваскуляризации миокарда, а также контроля эффективности интервенционного вмешательства на КА [46]. Помимо этого, использование «гибридных протоколов» значительно повышает специфичность и чувствительность эндоваскулярных методов в отношении оценки функциональной значимости стенозов. Особый интерес представляет более подробное изучение и применение в клинической практике неинвазивного метода верификации ишемии миокарда КТ-ФРК ввиду его меньшей инвазивности и большей экономической доступности. Немаловажными являются и такие методы интраваскулярной визуализации, как ВСУЗИ/ОКТ, позволяющие определить стабильность атеросклеротической бляшки, а также повысить качество результата стентирования, своевременно диагностировать интра- и постоперационные осложнения [12]. Таким образом, вышеописанные методы являются актуальными и перспективными для применения в рутинной клинической практике специалистов ввиду их высокой диагностической точности.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Список литературы:

1. Жмуров Д.В., Парфентева М.А., Семенова Ю.В. Ишемическая болезнь сердца. *Colloquium-journal*. 2020;29(81): 32-37. DOI:10.24412/2520-2480-2020-2981-32-37
2. Барбараш О. Л., Дуляков Д. В., Затеищikov Д. А. et al. Острый коронарный синдром без подъема сегмента st электрокардиограммы. Клинические рекомендации 2020. Российский кардиологический журнал. 2021;4:149-202. ISSN 2618-7620
3. Даренский Д.И., Грамович В.В., Жарова Е.А. et al. Диагностическая ценность измерения моментального резерва кровотока по сравнению с неинвазивными методами выявления ишемии миокарда при оценке функциональной значимости пограничных стенозов коронарных артерий. *Терапевтический архив*. 2017;89(4):15-21. doi: 10.17116/terarkh201789415-21
4. Baumgartner H, Falk V, Bax JJ, et al. 2017 ESC/EACTS Guidelines for the management of valvular heart disease. *Eur Heart J*. 2017;38(36):2739-2791. doi:10.1093/eurheartj/ehx391.
5. Барбараш О.Л., Кашталап В.В., Шибанова И.А. et al. Фундаментальные и прикладные аспекты кальцификации коронарных артерий. Российский кардиологический журнал. 2020;S3:40-49. <https://doi.org/10.15829/1560-4071-2020-4005>
6. Шария М.А., Шабанова М.С., Веселова Т.Н. et al. Сопоставление результатов компьютерной томографии и внутрисосудистого ультразвукового исследования в оценке параметров атеросклеротических бляшек коронарных артерий. *Медицинская визуализация*. 2018; 22 (4): 7–19. DOI: 10.24835/1607-0763-2018-4-7-19
7. Мустафина И.А., Загидуллин Н.Ш., Ишметов В.Ш. et al. Оптическая когерентная томография в диагностике ишемической болезни сердца. *Креативная хирургия и онкология*. 2017;1:54-57. doi:10.24060/2076-3093-2017-7-1-54-57
8. Шевченко Ю.Л., Свешников А.В., Марчак Д.И. et al. Электрокардиография из венечного синуса при внутрисердечных вмешательствах. *Вестник Национального медико-хирургического Центра им. Н.И. Пирогова*. 2019;14(4):4-11. DOI: 10.25881/BPNMSC.2019.21.69.001
9. Collet JP, Thiele H, Barbato E, et al. 2020 ESC Guidelines for the management of acute coronary syndromes in patients presenting without persistent ST-segment elevation *Eur Heart J*. 2021;42(14):1289-1367. doi:10.1093/eurheartj/ehaa575
10. Megaly M., Khalil C., Saad M. et al. Outcomes With Deferred Versus Performed Revascularization of Coronary Lesions With Gray-Zone Fractional Flow Reserve Values. *Circ Cardiovasc Interv*. 2019;12(12). – e008315. <https://doi.org/10.1161/CIRCINTERVENTIONS.119.008315>
11. Даренский Д. И., Грамович В. В., Жарова Е. А. et al. Сравнение методов моментального и фракционного резервов кровотока с неинвазивными методами выявления ишемии миокарда при оценке пограничных коронарных стенозов у больных с хронической формой ишемической болезни сердца. *Кардиология*. 2017;57(8):11–19. doi: 10.18087/cardio.2017.8.10012
12. Neumann FJ, Sousa-Uva M, Ahlsson A, et al. 2018 ESC/EACTS Guidelines on myocardial revascularization *Eur Heart J*. 2019;40(2):87-165. doi:10.1093/eurheartj/ehy394
13. Papaioannou TG, Kalantzis C, Katsianos E. et al. Personalized Assessment of the Coronary Atherosclerotic Arteries by Intravascular Ultrasound Imaging: Hunting the Vulnerable Plaque. *J Pers Med*. 2019;9(1):8. Published 2019 Jan 24. doi:10.3390/jpm9010008
14. Даренский Д.И., Грамович В.В., Жарова Е.А. Использование неинвазивных методов диагностики при определении функциональной значимости стенозов коронарных артерий

пограничной степени тяжести у больных с хронической ишемической болезнью сердца. Евразийский кардиологический журнал. 2016; 30-40. ISSN 2305-0748

15. Muroya T, Kawano H, Hata S, et al. Relationship between resting full-cycle ratio and fractional flow reserve in assessments of coronary stenosis severity. *Catheter Cardiovasc Interv.* 2020;96(4):E432-E438. doi:10.1002/ccd.28835

16. Engstrom T, Kelbæk H, Helqvist S, et al. Complete revascularisation versus treatment of the culprit lesion only in patients with ST-segment elevation myocardial infarction and multivessel disease (DANAMI-3—PRIMULTI): an open-label, randomised controlled trial. *Lancet.* 2015;386(9994):665-671. doi:10.1016/s0140-6736(15)60648-1

17. Layland J, Oldroyd KG, Curzen N, et al. Fractional flow reserve vs. angiography in guiding management to optimize outcomes in non-ST-segment elevation myocardial infarction: the British Heart Foundation FAMOUS-NSTEMI randomized trial. *Eur Heart J.* 2015;36(2):100-111. doi:10.1093/eurheartj/ehu338

18. Shah R. Optical coherence tomography-guided PCI. *Lancet.* 2017;389(10079):1607. doi:10.1016/S0140-6736(17)31017-6

19. Xu B, Tu S, Song L, et al. Angiographic quantitative flow ratio-guided coronary intervention (FAVOR III China): a multicentre, randomised, sham-controlled trial [published online ahead of print, 2021 Nov 3]. *Lancet.* 2021;S0140-6736(21)02248-0. doi:10.1016/S0140-6736(21)02248-0

20. Byrne RA, McGovern L. Angiography-derived quantitative flow ratio guidance of coronary intervention: measure twice, cut once [published online ahead of print, 2021 Nov 3]. *Lancet.* 2021;S0140-6736(21)02397-7. doi:10.1016/S0140-6736(21)02397-7

21. Mintz GS, Guagliumi G. Intravascular imaging in coronary artery disease [published correction appears in *Lancet.* 2017 Sep 9;390(10099):1026]. *Lancet.* 2017;390(10096):793-809. doi:10.1016/S0140-6736(17)31957-8

22. Modolo R, Collet C, Onuma Y, Serruys PW. SYNTAX II and SYNTAX III trials: what is the take home message for surgeons?. *Ann Cardiothorac Surg.* 2018;7(4):470-482. doi:10.21037/acs.2018.07.02

23. Douglas PS, Pontone G, Hlatky MA, et al. Clinical outcomes of fractional flow reserve by computed tomographic angiography-guided diagnostic strategies vs. usual care in patients with suspected coronary artery disease: the prospective longitudinal trial of FFR(CT): outcome and resource impacts study. *Eur Heart J.* 2015;36(47):3359-3367. doi:10.1093/eurheartj/ehv444

24. Суджаева О.А. Возможности метаболической терапии при микроваскулярной стенокардии с учетом новой парадигмы развития ИБС. *Медицинские новости.* 2016; 3(258):14-20.

25. Chiastra C, Iannaccone F, Grundeken MJ, et al. Coronary fractional flow reserve measurements of a stenosed side branch: a computational study investigating the influence of the bifurcation angle. *Biomed Eng Online.* 2016;15(1):91. Published 2016 Aug 5. doi:10.1186/s12938-016-0211-0

26. Casanova-Sandoval J, Fernández-Rodríguez D, Otaegui I, et al. Usefulness of the Hybrid RFR-FFR Approach: Results of a Prospective and Multicenter Analysis of Diagnostic Agreement between RFR and FFR-The RECOPA (REsting Full-Cycle Ratio Comparison versus Fractional Flow Reserve (A Prospective Validation)) Study. *J Interv Cardiol.* 2021;2021:5522707. Published 2021 Mar 31. doi:10.1155/2021/5522707

27. Даренский Д.И., Грамович В.В., Жарова Е.А. et al. Диагностическая ценность измерения моментального резерва кровотока по сравнению с неинвазивными методами выявления ишемии миокарда при оценке функциональной значимости пограничных стенозов коронарных артерий. *Терапевтический архив.* 2017;89(4):15-21. doi: 10.17116/terarkh201789415-21

28. Shuttleworth K, Smith K, Watt J, Smith JAL, Leslie SJ. Hybrid Instantaneous Wave-Free Ratio-Fractional Flow Reserve versus Fractional Flow Reserve in the Real World. *Front Cardiovasc Med.* 2017;4:35. Published 2017 May 30. doi:10.3389/fcvm.2017.00035

29. Escaned J, Echavarría-Pinto M, Garcia-Garcia HM, 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:10.1016/j.jcin.2015.01.029

30. Pontone G, Patel MR, Hlatky MA, et al. Rationale and design of the Prospective Longitudinal Trial of FFRCT: Outcome and Resource Impacts study. *Am Heart J.* 2015;170(3):438-46.e44. doi:10.1016/j.ahj.2015.06.002

31. Faria DC, Lee JM, van der Hoef T, et al. Age and functional relevance of coronary stenosis: a post hoc analysis of the ADVISE II trial. *EuroIntervention.* 2021;17(9):757-764. doi:10.4244/EIJ-D-20-01163

32. Knuuti J, Wijns W, Saraste A, et al. 2019 ESC Guidelines for the diagnosis and management of chronic coronary syndromes [published correction appears in *Eur Heart J.* 2020 Nov 21;41(44):4242]. *Eur Heart J.* 2020;41(3):407-477. doi:10.1093/eurheartj/ehz425

33. Svanerud J, Ahn JM, Jeremias A, et al. Validation of a novel non-hyperaemic index of coronary artery stenosis severity: the Resting Full-cycle Ratio (VALIDATE RFR) study. *EuroIntervention.* 2018;14(7):806-814. doi:10.4244/EIJ-D-18-00342

34. Гаврилова Н.Е., Жаткина М.В., Метельская В.А. et al. Методы оценки и возможности

инструментальной диагностики субклинического атеросклероза коронарных артерий. Кардиоваскулярная терапия и профилактика. 2019; 18(6):136-141. DOI: 10.15829/1728-8800-2019-6-136-141

35. Norgaard BL, Leipsic J, Gaur S et al. Diagnostic performance of noninvasive fractional flow reserve derived from coronary computed tomography angiography in suspected coronary artery disease: The NXT trial (Analysis of Coronary Blood Flow Using CT Angiography: NextSteps). *J Am Coll Cardiol* 2014;63:1145–1155.

36. Christensen-Jeffries K, Couture O, Dayton PA, et al. Super-resolution Ultrasound Imaging. *Ultrasound Med Biol*. 2020;46(4):865-891. doi:10.1016/j.ultrasmedbio.2019.11.013

37. Erlinge D, Maehara A, Ben-Yehuda O, et al. Identification of vulnerable plaques and patients by intracoronary near-infrared spectroscopy and ultrasound (PROSPECT II): a prospective natural history study. *Lancet*. 2021;397(10278):985-995. doi:10.1016/S0140-6736(21)00249-X

38. Jinying Z., Shiqin Y., Peng Z. et al. Impact of residual thrombus burden on ventricular deformation after acute myocardial infarction: A sub-analysis from an intravascular optical coherence tomography study. *EClinicalMedicine*. 2021;39. 101058. 10.1016/j.eclinm.2021.101058.

39. Reddy S, Kumar S, Kashyap JR, et al. Coronary artery size in North Indian population - Intravascular ultrasound-based study. *Indian Heart J*. 2019;71(5):412-417. doi:10.1016/j.ihj.2019.10.005

40. Мустафина И.А., Загидуллин Н.Ш., Павлов В.Н et al. «Оптическая когерентная томография в диагностике структуры коронарной бляшки» *Клиническая медицина*, vol. 95, no. 8, 2017, pp. 687-692. DOI <http://dx.doi.org/10.18821/0023-2149-2017-95-8-687-692>

41. Allahwala UK, Cockburn JA, Shaw E et al. Clinical utility of optical coherence tomography (OCT) in the optimisation of Absorb bioresorbable vascular scaffold deployment during percutaneous coronary intervention. *EuroIntervention*. 2015;10(10):1154-1159. doi:10.4244/EIJV10I10A190

42. Ali ZA, Maehara A, Généreux P, et al. Optical coherence tomography compared with intravascular ultrasound and with angiography to guide coronary stent implantation (ILUMIEN III: OPTIMIZE PCI): a randomised controlled trial. *Lancet*. 2016;388(10060):2618-2628. doi:10.1016/S0140-6736(16)31922-5

43. Meneveau N, Souteyrand G, Motreff P, et al. Optical Coherence Tomography to Optimize Results of Percutaneous Coronary Intervention in Patients with Non-ST-Elevation Acute Coronary Syndrome: Results of the Multicenter, Randomized DOCTORS Study (Does Optical Coherence Tomography Optimize Results of Stenting). *Circulation*. 2016;134(13):906-917. doi:10.1161/CIRCULATIONAHA.116.024393

44. Стабильная ишемическая болезнь сердца. Клинические рекомендации. Российский кардиологический журнал. 2020;25(11):4076. doi:10.15829/1560-4071-2020-4076

45. Shevchenko Yu.L., Ermakov D.Yu. Comparative analysis and estimation of sensitivity of standard ECG and ECG from the coronary sinus to induced myocardial ischemia. *Bulletin of Pirogov national medical & surgical center*. 2021;1(16):4-10. DOI: 10.25881/BPNMSC.2021.30.29.001

46. Яхонтов Д.А., Сукманова И.А., Пинаева А.С. et al. Современные возможности диагностики ишемии миокарда. *Бюллетень медицинской науки*. 2021;1(21): 27–38.

47. Stegehuis, V.E., Wijntjens, G.W., Piek, J.J. et al. Fractional Flow Reserve or Coronary Flow Reserve for the Assessment of Myocardial Perfusion. *Current Cardiology Reports*. 2018;20:77. <https://doi.org/10.1007/s11886-018-1017-4>

48. Zaleska M., Koltowski L., Maksym J. et al. Quantitative flow ratio and fractional flow reserve mismatch – clinical and biochemical predictors of measurement discrepancy. *Advances in Interventional Cardiology*. 2019;15(3): 301-307. DOI:10.5114/aic.2019.87883

49. Mathew R.C., Gottbrecht M., Salerno M. Computed Tomography Fractional Flow Reserve to Guide Coronary Angiography and Intervention. *Interv Cardiol Clin*. 2018;7(3):345-354. doi:10.1016/j.iccl.2018.03.008

50. Petraco R., Park J.J., Sen S. Hybrid iFR-FFR decision-making strategy: implications for enhancing universal adoption of physiology-guided coronary revascularization. *Eurointervention*. 2013; 8(10):1157-1165.

References

1. Zhmurov D.V., Parfenteva M.A., Semenova Yu.V. Coronary heart disease. *Colloquium-journal*. 2020;29(81): 32-37. (In Russ.) DOI:10.24412/2520-2480-2020-2981-32-37

2. Barbarash O.L., Duplyakov D.V., Zateishchikov D.A. et al. Acute coronary syndrome without lifting the ST segment of the electrocardiogram. Clinical recommendations 2020. *Russian Journal of Cardiology*. 2021;4:149-202 (In Russ.) ISSN 2618-7620

3. Darensky DI, Gramovich VV, Zharova EA, et al. The diagnostic value of measuring the momentary blood flow reserve versus non-invasive methods to detect myocardial ischemia in assessing the functional significance of borderline coronary artery stenoses. *Ter Arkh*. 2017;89(4):15-21. (In Russ.) doi:10.17116/terarkh201789415-21

4. Baumgartner H, Falk V, Bax JJ, et al. 2017 ESC/EACTS Guidelines for the management of valvular heart disease. *Eur Heart J*. 2017;38(36):2739-2791. doi:10.1093/eurheartj/ehx391.

5. Barbarash O.L., Kashtalov V.V., Shibanova I.A., Kokov A.N. Fundamental and practical aspects of coronary artery calcification. *Russian*

Journal of Cardiology. 2020;25(3S):4005. (In Russ.) <https://doi.org/10.15829/1560-4071-2020-4005>

6. Shariya M.A., Shabanova M.S., Veselova T.N., Merkulova I.N., Mironov V.M., Gaman S.A., Ternovoy S.K. Comparison of computed tomography with intravascular ultrasound in evaluation of coronary plaques parameters. *Medical Visualization*. 2018;(4):7-19. (In Russ.) <https://doi.org/10.24835/1607-0763-2018-4-7-19>

7. Mustafina I.A., Zagidullin N.Sh., Ishmetov V.Sh. et al. Optical coherence tomography opportunities in detection of coronary plaque morphology. *Creative Surgery and Oncology*. 2017;7:54-57. (In Russ.) doi:10.24060/2076-3093-2017-7-1-54-57.

8. Shevchenko Yu.L., Sveshnikov A.V., Marchak D.I. et al. Electrocardiography from the coronary sinus during intracardiac interventions. *Bulletin of Pirogov national medical & surgical center*.2019;14(4):4-11. (In Russ.) DOI: 10.25881/BPNMSC.2019.21.69.001

9. Collet JP, Thiele H, Barbato E, et al. 2020 ESC Guidelines for the management of acute coronary syndromes in patients presenting without persistent ST-segment elevation *Eur Heart J*. 2021;42(14):1289-1367. doi:10.1093/eurheartj/ehaa575

10. Megaly M., Khalil C., Saad M. et al. Outcomes With Deferred Versus Performed Revascularization of Coronary Lesions With Gray-Zone Fractional Flow Reserve Values. *Circ Cardiovasc Interv*. 2019;12(12). – e008315. <https://doi.org/10.1161/CIRCINTERVENTIONS.119.008315>

11. Darenskiy D. I., Gramovich V. V., Zharova E. A. et al. Comparison of Diagnostic Values of Instantaneous Wave-Free Ratio and Fractional Flow Reserve With Noninvasive Methods for Evaluating Myocardial Ischemia in Assessment of the Functional Significance of Intermediate Coronary Stenoses in Patients With Chronic Ischemic Heart Disease. *Kardiologiya*. 2017;57(8):11–19. (In Russ.) doi: 10.18087/cardio.2017.8.10012

12. Neumann FJ, Sousa-Uva M, Ahlsson A, et al. 2018 ESC/EACTS Guidelines on myocardial revascularization *Eur Heart J*. 2019;40(2):87-165. doi:10.1093/eurheartj/ehy394

13. Papaioannou TG, Kalantzis C, Katsianos E. et al. Personalized Assessment of the Coronary Atherosclerotic Arteries by Intravascular Ultrasound Imaging: Hunting the Vulnerable Plaque. *J Pers Med*. 2019;9(1):8. Published 2019 Jan 24. doi:10.3390/jpm9010008

14. Darenskiy D.I., Gramovich V.V., Zharova E.A. Using non-invasive methods for evaluating myocardial ischemia in assessment of the functional significance of intermediate coronary artery stenoses in patients with chronic ischemic heart disease. *Eurasian heart journal*. 2016;(3):30-40. (In Russ.) ISSN 2305-0748

15. Muroya T, Kawano H, Hata S, et al. Relationship between resting full-cycle ratio and

fractional flow reserve in assessments of coronary stenosis severity. *Catheter Cardiovasc Interv*. 2020;96(4):E432-E438. doi:10.1002/ccd.28835

16. Engstrom T, Kelbæk H, Helqvist S, et al. Complete revascularisation versus treatment of the culprit lesion only in patients with ST-segment elevation myocardial infarction and multivessel disease (DANAMI-3—PRIMULTI): an open-label, randomised controlled trial. *Lancet*. 2015;386(9994):665-671. doi:10.1016/s0140-6736(15)60648-1

17. Layland J, Oldroyd KG, Curzen N, et al. Fractional flow reserve vs. angiography in guiding management to optimize outcomes in non-ST-segment elevation myocardial infarction: the British Heart Foundation FAMOUS-NSTEMI randomized trial. *Eur Heart J*. 2015;36(2):100-111. doi:10.1093/eurheartj/ehu338

18. Shah R. Optical coherence tomography-guided PCI. *Lancet*. 2017;389(10079):1607. doi:10.1016/S0140-6736(17)31017-6

19. Xu B, Tu S, Song L, et al. Angiographic quantitative flow ratio-guided coronary intervention (FAVOR III China): a multicentre, randomised, sham-controlled trial [published online ahead of print, 2021 Nov 3]. *Lancet*. 2021;S0140-6736(21)02248-0. doi:10.1016/S0140-6736(21)02248-0

20. Byrne RA, McGovern L. Angiography-derived quantitative flow ratio guidance of coronary intervention: measure twice, cut once [published online ahead of print, 2021 Nov 3]. *Lancet*. 2021;S0140-6736(21)02397-7. doi:10.1016/S0140-6736(21)02397-7

21. Mintz GS, Guagliumi G. Intravascular imaging in coronary artery disease [published correction appears in *Lancet*. 2017 Sep 9;390(10099):1026]. *Lancet*. 2017;390(10096):793-809. doi:10.1016/S0140-6736(17)31957-8

22. Modolo R, Collet C, Onuma Y, Serruys PW. SYNTAX II and SYNTAX III trials: what is the take home message for surgeons? *Ann Cardiothorac Surg*. 2018;7(4):470-482. doi:10.21037/acs.2018.07.02

23. Douglas PS, Pontone G, Hlatky MA, et al. Clinical outcomes of fractional flow reserve by computed tomographic angiography-guided diagnostic strategies vs. usual care in patients with suspected coronary artery disease: the prospective longitudinal trial of FFR(CT): outcome and resource impacts study. *Eur Heart J*. 2015;36(47):3359-3367. doi:10.1093/eurheartj/ehv444

24. Sudzhaeva O.A. Possibilities of metabolic therapy in microvascular angina pectoris, taking into account the new paradigm of the development of ischemic heart disease. *Medical News*. 2016;3(258):14-20 (In Russ.)

25. Chiastra C, Iannaccone F, Grundeken MJ, et al. Coronary fractional flow reserve measurements of a stenosed side branch: a computational study investigating the influence of the bifurcation angle.

Biomed Eng Online. 2016;15(1):91. Published 2016 Aug 5. doi:10.1186/s12938-016-0211-0

26. Casanova-Sandoval J., Fernández-Rodríguez D, Otaegui I, et al. Usefulness of the Hybrid RFR-FFRA Approach: Results of a Prospective and Multicenter Analysis of Diagnostic Agreement between RFR and FFR-The RECOFA (REsting Full-Cycle Ratio Comparison versus Fractional Flow Reserve (A Prospective Validation)) Study. *J Interv Cardiol.* 2021. Published 2021 Mar 31. doi:10.1155/2021/5522707

27. Darensky D.I., Gramovich V.V., Zharova E.A. et al. The diagnostic value of measuring the momentary blood flow reserve versus non-invasive methods to detect myocardial ischemia in assessing the functional significance of borderline coronary artery stenoses. *Terapevticheskii arkhiv.* 2017;89(4):15-21. (In Russ.) doi: 10.17116/terarkh201789415-21

28. Shuttleworth K, Smith K, Watt J, Smith JAL, Leslie SJ. Hybrid Instantaneous Wave-Free Ratio-Fractional Flow Reserve versus Fractional Flow Reserve in the Real World. *Front Cardiovasc Med.* 2017;4:35. Published 2017 May 30. doi:10.3389/fcvm.2017.00035

29. Escaned J, Echavarría-Pinto M, Garcia-Garcia HM, 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:10.1016/j.jcin.2015.01.029

30. Pontone G, Patel MR, Hlatky MA, et al. Rationale and design of the Prospective Longitudinal Trial of FFRCT: Outcome and Resource Impacts study. *Am Heart J.* 2015;170(3):438-46.e44. doi:10.1016/j.ahj.2015.06.002

31. Faria DC, Lee JM, van der Hoef T, et al. Age and functional relevance of coronary stenosis: a post hoc analysis of the ADVISE II trial. *EuroIntervention.* 2021;17(9):757-764. doi:10.4244/EIJ-D-20-01163

32. Knuuti J, Wijns W, Saraste A, et al. 2019 ESC Guidelines for the diagnosis and management of chronic coronary syndromes [published correction appears in *Eur Heart J.* 2020 Nov 21;41(44):4242]. *Eur Heart J.* 2020;41(3):407-477. doi:10.1093/eurheartj/ehz425

33. Svanerud J, Ahn JM, Jeremias A, et al. Validation of a novel non-hyperaemic index of coronary artery stenosis severity: the Resting Full-cycle Ratio (VALIDATE RFR) study. *EuroIntervention.* 2018;14(7):806-814. doi:10.4244/EIJ-D-18-00342

34. Gavrilova N.E., Zhatkina M.V., Metelskaya V.A. et al. Assessment methods and possibilities of instrumental diagnosis of subclinical atherosclerosis of coronary arteries. *Cardiovascular Therapy and Prevention.* 2019;18(6):136-141. (In Russ.) <https://doi.org/10.15829/1728-8800-2019-6-136-141>

35. Norgaard BL, Leipsic J, Gaur S et al. Diagnostic performance of noninvasive fractional flow reserve derived from coronary computed tomography angiography in suspected coronary artery disease: The NXT trial (Analysis of Coronary Blood Flow Using CT Angiography: NextSteps). *J Am Coll Cardiol* 2014;63:1145–1155.

36. Christensen-Jeffries K, Couture O, Dayton PA, et al. Super-resolution Ultrasound Imaging. *Ultrasound Med Biol.* 2020;46(4):865-891. doi:10.1016/j.ultrasmedbio.2019.11.013

37. Erlinge D, Maehara A, Ben-Yehuda O, et al. Identification of vulnerable plaques and patients by intracoronary near-infrared spectroscopy and ultrasound (PROSPECT II): a prospective natural history study. *Lancet.* 2021;397(10278):985-995. doi:10.1016/S0140-6736(21)00249-X

38. Jinying Z., Shiqin Y., Peng Z. et al. Impact of residual thrombus burden on ventricular deformation after acute myocardial infarction: A sub-analysis from an intravascular optical coherence tomography study. *EClinicalMedicine.* 2021. 39. 101058. 10.1016/j.eclinm.2021.101058.

39. Reddy S, Kumar S, Kashyap JR, et al. Coronary artery size in North Indian population - Intravascular ultrasound-based study. *Indian Heart J.* 2019;71(5):412-417. doi:10.1016/j.ihj.2019.10.005

40. Mustafina I.A., Zagidullin N.Sh., Palvov V.N. et al. The use of optical coherent tomography for diagnostics of the coronary plaque structure. *Klin. Med.* 2017;95(8):687–692. DOI <http://dx.doi.org/10.18821/0023-2149-2017-95-8-687-692>

41. Allahwala UK, Cockburn JA, Shaw E et al. Clinical utility of optical coherence tomography (OCT) in the optimisation of Absorb bioresorbable vascular scaffold deployment during percutaneous coronary intervention. *EuroIntervention.* 2015;10(10):1154-1159. doi:10.4244/EIJV10I10A190

42. Ali ZA, Maehara A, Généreux P, et al. Optical coherence tomography compared with intravascular ultrasound and with angiography to guide coronary stent implantation (ILUMIEN III: OPTIMIZE PCI): a randomised controlled trial. *Lancet.* 2016;388(10060):2618-2628. doi:10.1016/S0140-6736(16)31922-5

43. Meneveau N, Souteyrand G, Motreff P, et al. Optical Coherence Tomography to Optimize Results of Percutaneous Coronary Intervention in Patients with Non-ST-Elevation Acute Coronary Syndrome: Results of the Multicenter, Randomized DOCTORS Study (Does Optical Coherence Tomography Optimize Results of Stenting). *Circulation.* 2016;134(13):906-917. doi:10.1161/CIRCULATIONAHA.116.024393

44. Clinical practice guidelines for Stable coronary artery disease. *Russian Journal of Cardiology.* 2020;25(11):4076. (In Russ.) doi:10.15829/1560-4071-2020-4076

45. Shevchenko Yu.L., Ermakov D.Yu. Comparative analysis and estimation of sensitivity of standard ECG and ECG from the coronary sinus

to induced myocardial ischemia. *Bulletin of Pirogov national medical & surgical center*. 2021;1(16):4-10. DOI: 10.25881/BPNMSC.2021.30.29.001

46. Yakhontov D.A., Sukmanova I.A., Pinaeva A.S. et al. Modern possibilities for diagnosing myocardial ischemia. *Bulletin of Medical Science*. 2021;1(21): 27–38. (In Russ.)

47. Stegehuis, V.E., Wijntjens, G.W., Piek, J.J. et al. Fractional Flow Reserve or Coronary Flow Reserve for the Assessment of Myocardial Perfusion. *Current Cardiology Reports*. 2018;20:77. <https://doi.org/10.1007/s11886-018-1017-4>

48. Zaleska M., Koltowski L., Maksym J. et al. Quantitative flow ratio and fractional flow reserve mismatch – clinical and biochemical predictors of measurement discrepancy. *Advances in Interventional Cardiology*. 2019;15(3):301-307. DOI:10.5114/aic.2019.87883

49. Mathew R.C., Gottbrecht M., Salerno M. Computed Tomography Fractional Flow Reserve to Guide Coronary Angiography and Intervention. *Interv Cardiol Clin*. 2018;7(3):345-354. doi:10.1016/j.iccl.2018.03.008

50. Petraco R., Park J.J., Sen S. Hybrid iFFR decision-making strategy: implications for enhancing universal adoption of physiology-guided coronary revascularization. *Eurointervention*. 2013;8(10):1157-1165.

Контактные данные

Автор, ответственный за переписку: Пинаева Алина Сергеевна, врач-кардиолог кардиологического отделения острого коронарного синдрома, Алтайский краевой кардиологический диспансер, г. Барнаул.

ORCID: 0000-0003-1686-0171

Тел.: +7-999-475-4011, +7 (3852) 50-89-33

E-mail: ya.alykoval@yandex.ru

Информация об авторах

Сукманова Ирина Александровна, д.м.н., зав. кардиологического отделения острого коронарного синдрома, Алтайский краевой кардиологический диспансер; профессор кафедры кардиологии и сердечно-сосудистой хирургии с курсом ДПО, Алтайский государственный медицинский университет Минздрава России, г. Барнаул.

ORCID: 0000-0001-8328-4050

Тел.: +7-999-475-4011, +7 (3852) 50-89-33

E-mail: ya.alykoval@yandex.ru

Гордеева Дарья Сергеевна, ординатор кафедры кардиологии и сердечно-сосудистой хирургии с курсом ДПО, Алтайский государственный медицинский университет Минздрава России, г. Барнаул.

Тел.: +7-999-475-4011, +7 (3852) 50-89-33

E-mail: ya.alykoval@yandex.ru

Губаренко Евгений Юрьевич, врач отделения рентгенохирургических методов диагностики и лечения, Алтайский краевой кардиологический диспансер, г. Барнаул.

Тел.: +7-999-475-4011, +7 (3852) 50-89-33

E-mail: ya.alykoval@yandex.ru

Contact information

Author responsible for correspondence: Pinaeva Alina Sergeevna, Cardiologist of the Cardiology Department of Acute Coronary Syndrome, Altai Krai Cardiology Dispensary, Barnaul.

ORCID: 0000-0003-1686-0171

Tel.: +7-999-475-4011, +7 (3852) 50-89-33

E-mail: ya.alykoval@yandex.ru

Author's information

Sukmanova Irina Aleksandrovna, Doctor of Medical Sciences, Head of the Cardiology Department of Acute Coronary Syndrome, Altai Krai Cardiology Dispensary; Professor, Department of Cardiology and Cardiovascular Surgery with a Course of Advanced Training, Altai State Medical University, Ministry of Health Care of Russia, Barnaul.

ORCID: 0000-0001-8328-4050

Tel.: +7-999-475-4011, +7 (3852) 50-89-33

E-mail: ya.alykoval@yandex.ru

Gordeeva Daria Sergeevna, Resident of the Department of Cardiology and Cardiovascular Surgery with a Course of Advanced Training, Altai State Medical University, Ministry of Health Care of Russia, Barnaul.

Tel.: +7-999-475-4011, +7 (3852) 50-89-33

E-mail: ya.alykoval@yandex.ru

Gubarenko Evgeny Yurievich, Doctor, Department of Radiosurgical Methods of Diagnosis and Treatment, Altai Krai Cardiology Dispensary, Barnaul.

Tel.: +7-999-475-4011, +7 (3852) 50-89-33

E-mail: ya.alykoval@yandex.ru

Поступила в редакцию 14.10.2021

Принята к публикации 22.11.2021

Для цитирования: Сукманова И.А., Гордеева Д.С., Пинаева А.С., Губаренко Е.Ю. Возможности применения визуализирующих методов рентгенэндоваскулярной хирургии у пациентов с ИБС. *Бюллетень медицинской науки*. 2021;4(24): 67-80.

Citation: Sukmanova I.A., Gordeeva D.S., Pinaeva A.S., Gubarenko E.Yu. Possibilities of using imaging methods of endovascular surgery in patients with coronary artery disease. *Bulletin of Medical Science*. 2021;4(24): 67-80. (In Russ.)