

Article/Review

# Фракционный резерв кровотока для оценки коронарной гемодинамики и его роль в определении тактики эндоваскулярного лечения больных ИБС

А.А. Юлдашов \*<sup>1</sup> , Х.Г. Фозилов <sup>1</sup> 

<sup>1</sup> Отделение рентгенэндоваскулярной хирургии, Республиканский специализированный научно-практический медицинский центр кардиологии, Ташкент, 100052, Узбекистан

doctor.yuldashov@icloud.com (А.Ю.), hurshidfozilov1976@icloud.com (Х.Ф.)

\* Correspondence: doctor.yuldashov@icloud.com; Tel.: +998 99 9001001 (Ю.А.)

## Аннотация:

Сердечно-сосудистые заболевания (ССЗ) являются основной причиной смертности во всем мире, ежегодно унося около 17,9 миллионов жизней. На долю ишемической болезни сердца (ИБС) приходится одна треть всех смертей от заболеваний системы кровообращения. Коронарная ангиография считается золотым стандартом в диагностике ИБС. Однако этот метод ограничен двухмерным изображением коронарных артерий и дает ограниченную информацию о функциональном и гемодинамическом состоянии артерий. По этой причине становится все более важным определение коронарной физиологии. Фракционный резерв кровотока (ФРК) как метод инвазивной оценки состояния коронарного кровотока на основе измерения трансстенотического градиента давления получило всеобщее признание. В настоящее время он играет важную роль в определении тактики реваскуляризации миокарда и отсрочке излишних чрескожных коронарных вмешательств (ЧКВ).

**Ключевые слова:** фракционный резерв кровотока (ФРК), ишемическая болезнь сердца (ИБС), чрескожные коронарные вмешательства (ЧКВ).

## Fractional flow reserve for assessment of coronary hemodynamics and its role in determining the tactics of endovascular treatment in patients with CAD

Alisher A.Yuldashev \*<sup>1</sup> , Khurshid G.Fozilov <sup>1</sup> 

<sup>1</sup> Department of X-ray endovascular surgery, Republican specialized scientific and practical medical center of cardiology, Tashkent, 100052,

doctor.yuldashov@icloud.com (A.Y.), hurshidfozilov1976@icloud.com (Kh.F.)

## Abstract:

Cardiovascular diseases (CVDs) are the leading cause of death globally, taking an estimated 17.9 million lives each year. Coronary artery disease (CAD) accounts for one third of all deaths from the diseases of the circulatory system. Coronary angiogram is considered as the gold standard in diagnosing CAD. However, this technique is limited with two-dimensional view of the coronary arteries and gives limited information on the functional and hemodynamic condition of the arteries. For this reason, it is becoming increasingly important to define coronary physiology. Fractional flow reserve (FFR) as a method of invasive assessment of coronary blood flow based on measurement of trans-stenotic pressure gradient has received universal recognition. Currently, it plays an important role in determining the tactics for myocardial revascularization and deferring unnecessary percutaneous coronary interventions (PCI).

**Цитирование:** А.А. Юлдашов, Х.Г. Фозилов. Фракционный резерв кровотока для оценки коронарной гемодинамики и его роль в определении тактики эндоваскулярного лечения больных ИБС. **2024**, 1,4, 8.  
<https://doi.org/10.70626/cardiouz-2024-4-00031>

Полученный: 10.10.2024

Исправленный: 18.10.2024

Принято: 25.12.2024

Опубликованный: 30.12.2024

**Copyright:** © 2024 by the authors. Submitted to for possible open access publication under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

**Keywords:** fractional flow reserve (FFR), coronary artery disease (CAD), percutaneous coronary interventions (PCI).

### **Введение**

Лечение больных ишемической болезнью сердца (ИБС) остается одной из наиболее актуальных и приоритетных задач мирового и отечественного здравоохранения. По данным Всемирной Организации Здравоохранения (ВОЗ) смертность от сердечно-сосудистых заболеваний составляет 31% и является наиболее частой причиной смертельных исходов во всем мире, главной причиной смерти является ишемическая болезнь сердца (ИБС). Смертность от ИБС на территории Евросоюза составляет 95,9 человек на 100 тысяч населения в год. Россия занимает лидирующее место в Европе по заболеваемости и смертности от сердечно-сосудистых заболеваний. На территории Российской Федерации этот показатель составляет 57,1%, из которых на долю ИБС выпадает более половины всех случаев (28,9%), что в абсолютных цифрах составляет 385,6 человек на 100 тысячи населения в год. В Узбекистане ССЗ также являются главной причиной смертности среди взрослого населения: 61,1% (около 107 000 смертей) в структуре общей смертности среди населения Республики Узбекистан в 2023 г. (stat.uz).

Профилактика, ранняя диагностика и эффективное лечение кардиоваскулярных болезней – ключевые задачи, над решением которых регулярно идет работа в медицинском сообществе. На сегодняшний день в нашей Республике кардиологическую помощь населению оказывают 1024 кардиологов, 129 интервенционных кардиологов, 110 кардиохирургов и 29 интервенционных аритмологов. Интервенционная кардиология – динамично развивающееся направление медицины в лечении ИБС. Коронарная инвазивная ангиография на сегодняшний день является вполне рутинным методом оценки состояния сосудов сердца. За 2022 год по Республике были проведены 29842 диагностических коронароангиографий (КАГ) и катетеризаций сердца, 11740 чрескожных коронарных вмешательств (ЧКВ) [1]. Однако диагностическая коронароангиография ограничена двухмерным представлением силуэта просвета и не всегда дает точную информацию о степени стенозирования и полноте магистрального кровотока. Кроме того, коронарография дает ограниченную информацию о функциональном или физиологическом состоянии коронарного кровотока, особенно в случаях пограничных степеней поражения [2]. В связи с чем в своей практике инвазивные кардиологи ежедневно сталкиваются со сложностями в оценке состояния коронарного русла. Внедрение в клиническую практику методов внутрисосудистой диагностики дополнило коронарную ангиографию данными о структуре атеросклеротической бляшки, позволило точнее судить о ее количественных параметрах и функциональной значимости.

Появление метода инвазивной оценки состояния коронарного кровотока на основе измерения трансстенотического градиента давления получило всеобщее признание и вошло в клиническую практику. Практическая и клиническая значимость применения измерения фракционного резерва кровотока (ФРК) уже изучены в исследованиях у больных со стенозами коронарных артерий (AVID; FAME; MUSIC; OPTICUS; RESIST). Результаты этих исследований расширили показания к их применению, оптимизировали тактику эндоваскулярного вмешательства и позволили разработать новые критерии оценки стентирования [3]. К сожалению, метод оценки фракционного резерва кровотока имеет свои преимущества и недостатки, которые всегда следует учитывать в неоднозначных ситуациях. Данная статья представляет из себя попытку провести обзор и анализ существующих публикаций с целью дать объективную оценку роли метода в обыденной клинической практике.

### **Определение и концепция ФРК.**

Используя принципы соотношения давления и потока при коронарных стенозах, концепция ФРК была разработана как средство оценки функциональной тяжести эпикардиального коронарного стеноза. Сужение эпикардиального сосуда вызывает падение перфузионного давления. Падение давления происходит из-за потерь на вязкость и расширение. Размер этих потерь можно оценить по закону Пуазейля и уравнению Бернулли соответственно. Падение давления на стенозе напрямую связано со скоростью потока экспоненциальным образом. Для отмены вазомоторного тонуса и, таким образом, минимизации микрососудистого сопротивления

ния вводят сосудорасширяющий препарат (либо внутрикоронарный аденозин или папаверин, либо внутривенное введение аденозина или дипиридамола). При этом условии поток крови через стеноз считается максимальным, создавая максимально достижимый градиент давления. Путем измерения отношения коронарного давления дистальнее места стеноза к аортальному давлению рассчитывают процент нормального коронарного кровотока или долю нормального кровотока (следовательно, FFR).  $FFR = Pd/Pa$ , где Pa — давление в аорте, а Pd давление в пост-стенозическом участке, измеренное при максимальной вазодилатации. ФРК имеет нормальное значение 1,0 для каждого пациента и каждой коронарной артерии. ФРК для стенозированной сосуда выражается в виде десятичной или дробной части этого значения. Фундаментальное предположение ФРК заключается в том, что при максимальной вазодилатации взаимосвязь между коронарным перфузионным давлением и кровотоком пропорциональна и линейна, т. е. стеноз влияет на дистальное коронарное давление в той же степени, что и на кровоток. Необходимо определить два показателя давления, зарегистрированных во время максимальной фармакологически индуцированной гиперемии. Показатель ФРК  $<0,75$  определяет гемодинамически значимый стеноз. Показатель ФРК выше  $>0,80$  говорит о том, что стеноз не является гемодинамически значимым. Важно отметить существование «серой зоны» показателей ФРК, в которой выявление ишемии миокарда затруднено. При значении ФРК ниже 0,75 стеноз КА считается гемодинамически значимым, при значении ФРК 0,8 — функционально незначимым. Параметры ФРК в пределах от 0,75 до 0,8 относятся к «серой зоне» и зачастую не являются достоверными в отношении ишемии миокарда, вследствие чего осложняют принятие решения о характере необходимого эндоваскулярного вмешательства. Был опубликован мета-анализ, объединивший 7 исследований и 2683 больных ИБС с «пограничными» поражениями коронарных артерий и данными значений ФРК, находящиеся в «серой зоне», части которых было выполнено ЧКВ, а остальным назначена оптимальная медикаментозная терапия (МТ) [4]. Авторы пришли к выводам, что в период наблюдения 2,5 года у группы пациентов, перенесших коронарное стентирование, уменьшилась частота реваскуляризации целевой КА, однако не было выявлено снижение вероятности возникновения МАСЕ по сравнению с группой МТ.

#### **Отсрочка и выполнение ЧКВ при функционально незначимом коронарном стенозе.**

В исследовании DEFER, проведенном в 2001 г. с целью изучения значимости измерения ФРК для решения вопроса о необходимости стентирования у пациентов с наличием пограничных стенозов, были включены 325 пациентов со стабильной стенокардией без документированной ишемии миокарда в течение двух предшествующих месяцев. При этом всем пациентам были проведены нагрузочные тесты, признанные отрицательными или сомнительными. По данным коронарографии, у этих пациентов выявлялся стеноз больше 50% по диаметру в артериях 2,5 мм и более. В результате исследования было выделено 3 группы пациентов: 1-я группа (91 человек) — с индексом ФРК  $>0,75$ , в которой чрескожные вмешательства (ЧКВ) не проводились; 2-я группа (90 пациентов) — с тем же значением ФРК, но с проведенными ЧКВ и 3-я группа (144 человека) — с индексом ФРК  $<0,75$ , которым ЧКВ выполнялись в любом случае. Были опубликованы отдаленные результаты у 325 (100%) пациентов через 12 мес и 317 (98%) через 24 мес и у 286 через 5 лет. Не было выявлено различий в показателях выживаемости без неблагоприятных событий между 1-й и 2-й группами (80 и 73% соответственно;  $p = 0,52$ ), но данный показатель был значительно хуже в 3-группе (63%;  $p = 0,03$ ) [5]. Результаты этого исследования заставили интервенционных кардиологов продолжить исследования с применением ФРК у больных с многососудистыми поражениями коронарных артерий.

#### **Сравнение результатов ЧКВ с измерением ФРК и без его измерения при многососудистом поражении коронарного русла.**

Следующим этапом в исследовании ФРК стало проспективное многоцентровое рандомизированное клиническое исследование FAME, сравнивающее две тактики лечения пациентов с многососудистым поражением: ЧКВ на основе данных ангиографии и ЧКВ только тех стенозов, физиологическая значимость которых доказана с помощью ФРК. В исследование включили 1005 пациентов с множественным поражением коронарного русла. Пациентов рандомизировали на 2 группы: в 1-й группе выполнялось ЧКВ согласно анатомической тяжести стенозов КА ( $n=496$ ), во 2-й оценивали физиологическую значимость стенозов с помощью определения ФРК, при ФРК  $<0,80$  проводили ЧКВ ( $n=509$ ). В дальнейшем пациентов наблюдали в течение 1

года. Необходимо отметить, что в исследовании использовали только стенты с лекарственным покрытием. Основным оцениваемым комбинированным исходом являлась комбинация общей смертности, частоты развития ИМ и частоты повторных реваскуляризаций. Первичная конечная точка (комбинация смерти, инфаркта миокарда и повторной реваскуляризации) наблюдалась у 91 пациента (18,3%) в группе ангиографии и у 67 (13,2%) в группе ФРК ( $P=0,02$ ). Общая смертность через 1 год не различалась между группами ( $p=0,19$ ). Годовой показатель смертности или инфаркта миокарда, который не был заранее определенной вторичной конечной точкой, но являлся важной клинической переменной, составил 11,1% (55 пациентов) в группе ангиографии и 7,3% (37 пациентов) в группе ФРК ( $P=0,04$ ). Кроме того, показано, что такая тактика дает экономическую эффективность, при том же профиле безопасности, что и ЧКВ, основанное на данных ангиографии [6].

Следующим интересным вопросом среди исследователей было изучение корреляции ФРК с неинвазивными нагрузочными пробами.

#### **Корреляция ФРК с нагрузочными пробами.**

Результаты, получаемые при оценке ФРК, как правило, коррелируют с результатами нагрузочных проб и имеют четкое пороговое значение 0,75, что было продемонстрировано в исследованиях Rijls N.H. с соавт. [7]. Для определения самой низкой пороговой ишемия-несвязанной величины ФРК результаты нагрузочных проб сравнивали со значениями ФРК. Отмечалось что среди 60 больных с изолированным стенозом одной коронарной артерии (КА) и нормальными показателями функции левого желудочка показатель ФРК - 0,72 был самым низким наряду с нормальной ЭКГ во время нагрузочного теста [2]. При этом для выявления самого высокого ишемия-индуцированного показателя ФРК та же группа авторов обследовала 60 пациентов с однососудистым поражением и положительными результатами нагрузочных тестов, измеряя ФРК до и после ангиопластики (АП) [7]. У 56 пациентов ФРК до АП был менее 0,74, а после АП больше 0,75. Эти данные доказывают высокую корреляцию между результатами ФРК и данными нагрузочных тестов. Что касается результатов стресс-ЭхоКГ с добутамином, то также отмечается корреляция индекса ФРК с влиянием поражения на миокардиальный кровоток. У 75 пациентов с однососудистым поражением была выполнена стресс-ЭхоКГ и определены значения ФРК. У 20 пациентов с ФРК  $>0,75$  результаты стресс-ЭхоКГ были отрицательными, у 41 (из 54) с ФРК  $<0,75$  при нагрузочной пробе определялись патологические изменения. В нескольких исследованиях результаты определения ФРК сравнивали с результатами стресс-сцинтиграфии [8,13,15]. Все эти исследования, проведенные независимо, показали четкую корреляцию между показателями ФРК и результатами неинвазивных тестов для оценки ишемии.

#### **Бифуркационные и устьевые поражения.**

Крупномасштабных рандомизированных исследований, подтверждающих отсрочку реваскуляризации на основе ФРК при бифуркационных поражениях, не проводилось. В 2005 году провели проспективное когортное исследование у пациентов с бифуркационными поражениями коронарных артерий, которым первоначально проводилось стентирование основной ветви без вмешательства на боковую ветвь. ФРК боковых ветвей после стентирования основной ветви были измерены у 91 пациента [9]. Вмешательство выполнялось только при ФРК  $<0,75$ . Только 27% всех поражений боковых ветвей были отмечены как функционально значимые. У остальных пациентов вмешательство на боковой ветви было отложено на основании результатов ФРК. По сравнению с обычной группой (пациенты с бифуркационными поражениями, получавшие лечение без контроля ФРК) из 110 пациентов, не было различий в частоте сердечных событий через 9 месяцев (4,6% группа ФРК против 3,7 традиционной группы,  $p = 0,7$ ). Следует отметить, что количество сложных вынужденных вмешательств было значительно ниже в группе, получавших ФРК (30% против 45%,  $p = 0,03$ ).

#### **Тандемные поражения.**

Тандемные поражения определяются как 2 отдельных поражения со стенозом  $>50\%$  каждое (с визуальной оценкой на обычной ангиографии) в одной и той же коронарной артерии, разделенные ангиографически нормальным сегментом. ФРК может также использоваться для руководства реваскуляризацией при тандемных поражениях. Если ФРК  $<0,75$ , Hirota и соавторы предложили сначала выполнить ЧКВ для стеноза, который показал выраженное

сужение, а затем повторить измерение ФРК. Если ФРК остается  $<0,75$ , другой стеноз также реваскуляризировался; напротив, если значение ФРК первого поражения увеличилось после ЧКВ до  $>0,75$ , то второе поражение лечилось только медикаментозно [10].

#### **Альтернативы ФРК.**

В последние годы в качестве альтернативы стало использоваться мРК (моментальный резерв кровотока) 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 минимальной. Как и при измерении ФРК, фиксируют давление в аорте и дистальнее стеноза сосуда. Преимущество мРК заключается в отсутствии необходимости в применении вазодилататоров. В качестве порогового значения мРК принимают уровень 0,89. Лечение стабильной ИБС с использованием ФРК 0,80 или мРК 0,89 приводит к эквивалентным результатам для обеих методик. Однако эти значения до сих пор оспариваются. 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 [11]. На основании измеренных уровней ФРК или мРК пациенты были направлены на реваскуляризацию. В течение 12 месяцев после рандомизации у 3,7% пациентов были зафиксированы случаи кардиальной смерти или ИМ. В группе мРК зарегистрировано больше случаев ИМ и летального исхода, но статистически значимых различий не получено. Отмечено также, что клиническая стратегия, базирующаяся на мРК, приводила к более редкому применению ЧКВ или коронарного шунтирования. 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 КАГ, позволяет изменить тактику ведения (оптимальная медикаментозная терапия, ЧКВ, аортокоронарное шунтирование). Большинство изменений было связано с отказом от ЧКВ в пользу оптимальной медикаментозной терапии [12].

#### **Недостатки ФРК.**

Однако, использование ФРК имеет ряд недостатков при применении в эндоваскулярной хирургии. Так, одно измерение ФРК в среднем увеличивает общее время интервенционного вмешательства на 7 минут, эффективную дозу облучения — на 2,8 мЗв, и объем введенного контрастного препарата — на 35 мл. Однако, основное ограничение применения ФРК заключается в необходимости парентерального введения вазодилататора, что связано с риском возникновения различных побочных эффектов от чувства «стеснения и жара» в грудной клетке до индукции жизнеугрожающих желудочковых нарушений ритма сердца. При многососудистом поражении КА необходимо повторное введение вазодилатирующего вещества с целью определения значимости отдельных поражений венечных артерий, что приводит к дополнительному увеличению общего и рентгеновского времени вмешательства и нежелательно с точки зрения безопасности. Помимо этого, отмечают, что внутривенное введение аденозина сопряжено с дополнительным риском возникновения побочных эффектов [13]. Другим «слабым местом» ФРК при выраженной стенокардии и положительных результатах нагрузочных проб является известный клинический парадокс – коронарный сосудистый спазм в ангиографически неизменном или мало измененном сосуде. Поскольку гиперемический протокол является также обязательным и для этой когорты пациентов, сосудистый спазм вообще не будет ангиографически документирован, и показатель ФРК не превысит порогового значения. Подобные явления могут наблюдаться в случае функционирующего развитого коллатерального кровотока [13].

Вследствие вышеуказанных причин ряду пациентов, несмотря на наличие показаний, определение ФРК не производится. Так, по данным Американского Кардиологического Колледжа за 2017 г. в США оценка ФРК проводилась в процессе коронарного стентирования лишь в 6,1% случаев [14]. За последние 3 года подробная статистика частоты применения этого метода в РФ не велась, но, по данным отдельных медицинских учреждений, имеющих в

своем распоряжении оборудование для измерения ФРК, его использование по состоянию на 2018 г. ограничивалось 5,9% от всех рентгенхирургических вмешательств.

В исследовании Resolve показано, что при наличии значимого градиента давления он будет отмечаться и без фармакологической вазодилатации при оценке функциональной тяжести ангиографически выявленного стеноза [15]. Для этого в двух группах пациентов были оценены градиенты давления при индуцированной гиперемии и без нее. По утверждению авторов, этого достаточно, чтобы определить, необходима ли реваскуляризация в данный момент или она может быть безопасно отложена. Группа авторов во главе с Schlundt сообщает, что достоверной разницы между интракоронарным и внутривенным введением фармакологического индуктора гиперемии не наблюдается. Для этого 114 пациентов с ангиографически выявленной промежуточной степенью стеноза (50-75% по диаметру) были рандомизированы на 2 группы: с интракоронарным введением (40 мкг для ПКА, 80 мкг для ЛКА) и продолжительным внутривенным (140 мкг/кг/мин в течение 2 мин) введением аденозина [16]. Была выявлена высокая степень корреляции между показателями ФРК при разных способах гиперемии ( $r = 0,99$ ,  $p < 0,001$ ), при этом введение интракоронарного болюса занимает меньше времени и намного комфортнее для пациента.

Косвенным доказательством вышесказанного могут стать работы ряда авторов, определяющих ФРК при проведении мультирезовой КТ (МСКТ) КА. Очевидно, что подобные неинвазивные исследования выполняются без селективной индуцированной гиперемии. В частности Norgaard и соавторы на 254 пациентах показали высокую степень достоверности неинвазивно измеренного ФРК с инвазивным [17]. Gaug и соавторы также сообщают о высокой достоверности неинвазивно определенного ФРК по данным МСКТ (так называемой КТ-ФРК) и ФРК, определенного транскатетерным способом с высокой степенью статистической достоверности ( $p = 0,005$ ) [18].

Более современная оптическая когерентная томография (ОКТ), так же как и ВСУЗИ, ставит основной своей задачей анатомо-морфологическую оценку состояния сосудистой стенки. Группа авторов во главе с Jang обследовала 42 пациента с пограничными стенозами с помощью ОКТ и ФРК до проведения вмешательств [19]. Исследователи показали, что в малой выборке пациентов ОКТ и ФРК значимо коррелируют в оценке пограничных стенозов, а также высокочувствительны (67–75%) и специфичны (92–100%) при индексе ФРК до 0,80. Вышепредставленные исследования хорошо демонстрируют адекватность данных, получаемых при помощи ВСУЗИ и ОКТ. Преимущества и недостатки каждой из методик по-прежнему остаются проблемой для обсуждения и требуют дальнейшего изучения.

#### **Обсуждение:**

ФРК является золотым стандартом для оценки физиологической значимости пограничных поражений на основе коронарографии. Это должно быть единственным критерием целесообразности ЧКВ в случае неопределенности относительно значимости стеноза. Вместо того, чтобы полагаться исключительно на ангиографические критерии тяжести, когда стресс-тест отсутствует или когда стресс-тест/анатомические результаты не согласуются, окончательным авторитетом должен быть ФРК. «Функциональная ангиопластика» (выполнение ЧКВ на поражениях, вызывающих ишемию, и медикаментозное лечение тех, которые не вызывают ишемию), в отличие от полной анатомической реваскуляризации (выполнение ЧКВ на всех поражениях, которые кажутся ангиографически значимыми), является предпочтительным процессом принятия решения.

#### **Заключение**

Таким образом преимущества, получаемые при использовании ФРК, по сравнению с рутинной коронарографией очевидны. Как следует из обзора литературы, коронарография не обладает возможностью оценки функциональной значимости таких поражений, как пограничные сужения, стенозы боковых ветвей, а измерения ФРК показывают, что в большинстве случаев они являются гемодинамически не значимыми. У пациентов с положительным нагрузочным тестом проведение ФРК позволяет оправдать последующую интервенционную процедуру. ФРК может стать незаменимым инструментом при анатомической сложности и вариабельности атеросклеротического поражения, позволяя выявить синдром-связанный стеноз в бассейне одной артерии и избежать бессмысленной полной реваскуляризации. Тот

факт, что только треть поражений со степенью стеноза 75% по данным коронарографии оказались значимыми при измерении ФРК, может стать сигналом для дальнейшего осмысления концепции объема реваскуляризации.

### **Вклад авторов**

Разработка дизайна статьи: Х.Ф., А.Ю.; Анализ и интерпретация данных: Х.Ф., А.Ю.; Окончательное утверждение рукописи, корректирование: Х.Ф., А.Ю.; Согласие быть ответственными за все аспекты работы: Х.Ф., А.Ю.

### **Authors' contribution**

Article design development: Kh.F., A.Y.; Data analysis and interpretation: Kh.F., A.Y.; Final approval of the manuscript and editing: Kh.F., A.Y.; Agreement to be responsible for all aspects of the work: Kh.F., A.Y.

### **Источник финансирования**

Не финансирован.

### **Funding source**

Not funded.

### **Соответствие принципам этики**

Исследование проводилось в соответствии с Декларацией Хельсинки и было одобрено Институциональным обзорным комитетом Республиканского специализированного научно-практического медицинского центра кардиологии, Ташкент, Узбекистан. Все участники исследования подписали информированное согласие на участие.

### **Ethics approval**

The study was conducted in accordance with the Declaration of Helsinki and was approved by the Institutional Review Board of the Republican Specialized Scientific-Practical Medical Center of Cardiology, Tashkent, Uzbekistan. All participants provided written informed consent for participation.

### **Информированное согласие на публикацию**

Информированное согласие было получено от всех участников исследования.

### **Consent for publication**

Informed consent was obtained from all subjects involved in the study.

### **Заявление о доступности данных**

Данные, использованные в данном исследовании, доступны по запросу у соответствующего автора. Новые данные не были созданы в ходе исследования, и все исходные данные представлены в статье обзора

### **Data Availability Statement**

The data used in this study are available upon request from the corresponding author. No new data were generated during the study, and all original data are presented in the review article.

### **Благодарности**

Авторы выражают благодарность Республиканскому специализированному научно-практическому медицинскому центру кардиологии, Ташкент, Узбекистан, за предоставленные ресурсы и поддержку в проведении данного исследования.

### **Acknowledgments**

The authors express their gratitude to the Republican Specialized Scientific-Practical Medical Center of Cardiology, Tashkent, Uzbekistan, for the resources provided and support in conducting this study.

### **Конфликт интересов**

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

### **Conflict of interest**

The authors declare no conflict of interest.

## Сокращения

ФРК	фракционный резерв кровотока
КАГ	коронарная ангиография
ИБС	ишемическая болезнь сердца
ЧКВ	чрескожные коронарные вмешательства
МРК	моментальный резерв кровотока
КТ	компьютерная томография
КА	коронарные артерии
ОКТ	оптическая когерентная томография

## Литература

- [1] Fozilov Kh.G., Kardiologiya Uzbekistana 3, 2023, 3-8 [cited 2025 Jan 11]. Available from: <https://uzcardio.uz/medias/media/other/86/kardio-n3-new-compressed-1.pdf>
- [2] Pijls NH, De Bruyne B, Peels K, Van Der Voort PH, Bonnier HJ, Bartunek J, Koolen JJ, Koolen JJ. Measurement of fractional flow reserve to assess the functional severity of coronary-artery stenoses. *N Engl J Med.* 1996 Jun 27;334(26):1703–8.
- [3] Yoon YE, Koo BK. Non-invasive functional assessment using computed tomography: when will they be ready for clinical use? *Cardiovasc Diagn Ther.* 2012 Jun;2(2):106–12.
- [4] Zimmermann FM, Omerovic E, Fournier S, Kelbæk H, Johnson NP, Rothenbühler M, Xaplanteris P, Abdel-Wahab M, Barbato E, Høfsten DE, Tonino PAL, Boxma-de Klerk BM, Fearon WF, Køber L, Smits PC, De Bruyne B, Pijls NHJ, Jüni P, Engstrøm T. Fractional flow reserve-guided percutaneous coronary intervention vs. medical therapy for patients with stable coronary lesions: meta-analysis of individual patient data. *Eur Heart J.* 2019 Jan 7;40(2):180–6.
- [5] Bech GJ, De Bruyne B, Pijls NH, de 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 Jun 19;103(24):2928–34.
- [6] Tonino PAL, Bruyne BD, Pijls NHJ, Siebert U, Ikeno F, Veer M van 't, Klauss V, Manoharan G, Engstrøm T, Oldroyd KG, Lee PNV, MacCarthy PA, Fearon WF. Fractional Flow Reserve versus Angiography for Guiding Percutaneous Coronary Intervention. *N Engl J Med.* 2009 Jan 15;360(3):213–24.
- [7] Pijls NH, van Son JA, Kirkeeide RL, De Bruyne B, Gould KL. Experimental basis of determining maximum coronary, myocardial, and collateral blood flow by pressure measurements for assessing functional stenosis severity before and after percutaneous transluminal coronary angioplasty. *Circulation.* 1993 Apr;87(4):1354–67.
- [8] Abe M, Tomiyama H, Yoshida H, Doba N. Diastolic fractional flow reserve to assess the functional severity of moderate coronary artery stenoses: comparison with fractional flow reserve and coronary flow velocity reserve. *Circulation.* 2000 Nov 7;102(19):2365–70.
- [9] Koo BK, Kang HJ, Youn TJ, Chae IH, Choi DJ, Kim HS, Sohn DW, Oh BH, Lee MM, Park YB, Choi YS, Tahk SJ. Physiologic assessment of jailed side branch lesions using fractional flow reserve. *J Am Coll Cardiol.* 2005 Aug 16;46(4):633–7.
- [10] Hirota M, Iwasaki K, Yamamoto K, Kusachi S, Hina K, Hirohata S, Murakami M, Kamikawa S, Murakami T, Shiratori Y. Coronary pressure measurement to identify the lesion requiring percutaneous coronary intervention in equivocal tandem lesions. *Coron Artery Dis.* 2006 Mar;17(2):181–6.
- [11] Berry C, McClure JD, Oldroyd KG. Meta-Analysis of Death and Myocardial Infarction in the DEFINE-FLAIR and iFR-SWEDEHEART Trials. *Circulation.* 2017 Dec 12;136(24):2389–91.
- [12] Pooled Analysis of DEFINE-FLAIR and iFR-SWEDEHEART [Internet]. American College of Cardiology. [cited 2025 Jan 9]. Available from: <https://www.acc.org/latest-in-cardiology/journal-scans/2018/08/07/14/32/http%3a%2f%2fwww.acc.org%2flatest-in-cardiology%2fjournal-scans%2f2018%2f08%2f07%2f14%2f32%2fsafety-of-the-deferral-of-coronary-revascularization>.
- [13] Pijls NH, Van Gelder B, Van der Voort P, Peels K, Bracke FA, Bonnier HJ, el Gamal MI. Fractional flow reserve. A useful index to evaluate the influence of an epicardial coronary stenosis on myocardial blood flow. *Circulation.* 1995 Dec 1;92(11):3183–93.
- [14] FFR in 2017: Current Status in PCI Management [Internet]. American College of Cardiology. [cited 2025 Jan 9]. Available from: <https://www.acc.org/latest-incardiology/articles/2017/05/25/08/34/http%3a%2f%2fwww.acc.org%2flatest-in-cardiology%2farticles%2f2017%2f05%2f25%2f08%2f34%2fffr-in-2017-current-status-in-pci-management>.
- [15] Jeremias A, Maehara A, Généreux P, Asrress KN, Berry C, De Bruyne B, Davies JE, Escaned J, Fearon WF, Gould KL, Johnson NP, Kirtane AJ, Koo BK, Marques KM, Nijjer S, Oldroyd KG, Petraco R, Piek

- JJ, Pijls NH, Redwood S, Siebes M, Spaan JAE, van 't Veer M, Mintz GS, Stone GW. Multicenter core laboratory comparison of the instantaneous wave-free ratio and resting Pd/Pa with fractional flow reserve: the RESOLVE study. *J Am Coll Cardiol*. 2014 Apr 8;63(13):1253–61.
- [16] Schlundt C, Bietau C, Klinghammer L, Wiedemann R, Rittger H, Ludwig J, Achenbach S. Comparison of intracoronary versus intravenous administration of adenosine for measurement of coronary fractional flow reserve. *Circ Cardiovasc Interv*. 2015 May;8(5):e001781.
- [17] Nørgaard BL, Leipsic J, Gaur S, Seneviratne S, Ko BS, Ito H, Jensen JM, Mauri L, De Bruyne B, Bezerra H, Osawa K, Marwan M, Naber C, Erglis A, Park SJ, Christiansen EH, Kaltoft A, Lassen JF, Bøtker HE, Achenbach S, NXT Trial Study Group. 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: Next Steps). *J Am Coll Cardiol*. 2014 Apr 1;63(12):1145–55.
- [18] Gaur S, Øvrehus KA, Dey D, Leipsic J, Bøtker HE, Jensen JM, Narula J, Ahmadi A, Achenbach S, Ko BS, Christiansen EH, Kaltoft AK, Berman DS, Bezerra H, Lassen JF, Nørgaard BL. Coronary plaque quantification and fractional flow reserve by coronary computed tomography angiography identify ischaemia-causing lesions. *Eur Heart J*. 2016 Apr 14;37(15):1220–7.
- [19] Jang SJ, Ahn JM, Kim B, Gu JM, Sung HJ, Park SJ, Oh WY. Comparison of Accuracy of One-Use Methods for Calculating Fractional Flow Reserve by Intravascular Optical Coherence Tomography to That Determined by the Pressure-Wire Method. *Am J Cardiol*. 2017 Dec 1;120(11):1920–5.

**Отказ от ответственности/Примечание издателя:** Заявления, мнения и данные, содержащиеся во всех публикациях, принадлежат исключительно отдельным лицам. Авторы и участники, а Журнал и редакторы. Журнал и редакторы не несут ответственности за любой ущерб, нанесенный людям или имуществу, возникшее в результате любых идей, методов, инструкций или продуктов, упомянутых в контенте.

**Disclaimer of liability/Publisher's Note:** The statements, opinions and data contained in all publications belong exclusively to individuals. The authors and participants, and the Journal and the editors. The journal and the editors are not responsible for any damage caused to people or property resulting from any ideas, methods, instructions or products mentioned in the content.