

© Коллектив авторов, 2020

УДК 616.132.2-089.819

Е.З. Голухова, К.В. Петросян, А.В. Абросимов, В.В. Лосев

Современное состояние практического применения инвазивных методов оценки интракоронарной физиологии

ФГБУ «Национальный медицинский исследовательский центр сердечно-сосудистой хирургии им. А.Н. Бакулева» (президент — академик РАН и РАМН Л.А. Бокерия) Минздрава России, Рублевское ш., 135, Москва, 121552, Российская Федерация

Голухова Елена Зеликовна, доктор мед. наук, профессор, академик РАН, заведующий кафедрой, и. о. директора НМИЦССХ им. А.Н. Бакулева, зам. главного редактора журнала, orcid.org/0000-0002-6252-0322

Петросян Карен Валерьевич, доктор. мед. наук, заведующий отделением, orcid.org/0000-0002-3370-0295

Абросимов Андрей Викторович, канд. мед. наук, науч. сотр., специалист по рентгенэндоваскулярной диагностике и лечению, orcid.org/0000-0001-5907-9508

Лосев Владимир Вячеславович, аспирант, orcid.org/0000-0001-9677-7022

На сегодняшний день оценка мгновенного резерва кровотока (МРК) представляет собой современный диагностический метод для определения гемодинамической значимости стеноза коронарной артерии. Развитие стеноза в просвете коронарной артерии приводит к формированию микроциркуляторных коллатералей вокруг зоны поражения для компенсации коронарного гомеостаза и, как следствие, сохранению оптимальных показателей давления в коронарной артерии дистальнее стеноза. В основе МРК лежит расчет гемодинамической значимости коронарного стеноза путем определения колебаний микрососудистой резистентности. МРК регистрирует давление в коронарной артерии в момент особой диастолической фазы, называемой «безволновой период». Во время этой фазы коронарный кровоток находится на пике, а коронарное сопротивление, наоборот, достигает минимальных значений. Математический алгоритм в применяемых МРК-системах позволяет автоматически регистрировать данную фазу и использовать ее как контрольное значение без назначения фармакологических вазодилататоров. Данный обзор литературы представляет разбор результатов крупномасштабных исследований, а также рекомендаций крупных ассоциаций, занимающихся лечением коронарной патологии, которые указывают на то, что использование МРК является равноценной альтернативой оценке фракционного резерва кровотока.

Ключевые слова: мгновенный резерв кровотока; безволновой период; интракоронарная физиология.

Для цитирования: Голухова Е.З., Петросян К.В., Абросимов А.В., Лосев В.В. Современное состояние практического применения инвазивных методов оценки интракоронарной физиологии. *Креативная кардиология.* 2020; 14 (3): 272–9. DOI: 10.24022/1997-3187-2020-14-3-272-279

Для корреспонденции: Лосев Владимир Вячеславович, e-mail: vyaceslav.92@mail.ru

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Поступила 02.09.2020
Принята к печати 12.09.2020

E.Z. Golukhova, K.V. Petrosian, A.V. Abrosimov, V.V. Losev

Current state of practical application of invasive methods for assessing intracoronary physiology

Bakoulev National Medical Research Center for Cardiovascular Surgery, Moscow, 121552, Russian Federation

Elena Z. Golukhova, Dr. Med. Sc., Professor, Academician of RAS, Chief of Chair, Acting Head of A.N. Bakoulev National Medical Research Center for Cardiovascular Surgery, Deputy Chief Editor of the Journal, orcid.org/0000-0002-6252-0322

Karen V. Petrosian, Dr. Med. Sc., Head of Department, orcid.org/0000-0002-3370-0295

Andrey V. Abrosimov, Cand. Med. Sc., Researcher, Specialist in Endovascular Diagnosis and Treatment, orcid.org/0000-0001-5907-9508

Vladimir V. Losev, Postgraduate, orcid.org/0000-0001-9677-7022

Nowadays, the assessment of instantaneous flow reserve (iFR) is considered a modern diagnostic modality for determining the hemodynamic significance of coronary artery stenosis. At the beginning of development stenotic

lesion in the lumen of the coronary artery microcirculatory collaterals start to form around the affected area to compensate for coronary homeostasis, and as a result, the preservation of optimal pressure indicators in the coronary artery distal to stenosis. The physiological principal of the iFR based on the calculation of the hemodynamic significance of coronary stenosis by determining the fluctuations of microvascular resistance. The iFR registrates pressure in the coronary artery at the time of a special diastolic phase, called the “wave-free ratio”. During this phase, coronary blood flow is at its peak, and coronary resistance, on the contrary, reaches its minimum value. The mathematical algorithm in the systems used by iFR is able to automatically register this phase and use it as a control value without the appointment of pharmacological vasodilators. This literature review provides an analysis of the results of large-scale studies, as well as the recommendations of major associations involved in the treatment of coronary pathology, which indicate that the use of iFR is an equivalent alternative to fractional flow reserve.

Keywords: instantaneous flow reserve; wave-free period; intracoronary physiology.

For citation: Golukhova E.Z., Petrosian K.V., Abrosimov A.V., Losev V.V. Current state of practical application of invasive methods for assessing intracoronary physiology. *Creative Cardiology*. 2020; 14 (3): 272–9 (in Russ.). DOI: 10.24022/1997-3187-2020-14-3-272-279

For correspondence: Vladimir V. Losev, e-mail: vyaceslav.92@mail.ru

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

Received September 02, 2020

Accepted September 12, 2020

Введение

Оценка мгновенного безволнового периода (мгновенного резерва кровотока (МРК)) – это современный диагностический метод для определения гемодинамической значимости стеноза коронарной артерии. МРК регистрирует давление в коронарной артерии в момент особой диастолической фазы, называемой «безволновой период». Во время этой фазы коронарный кровоток находится на пике, а коронарное

сопротивление, наоборот, достигает минимальных значений (рис. 1).

Математический алгоритм в применяемых МРК-системах способен автоматически регистрировать данную фазу и использовать ее как контрольное значение без назначения фармакологических вазодилаторов [1, 2]. Важно отметить, что на сегодняшний день число стран, которые активно применяют инвазивные методы оценки интракоронарной физиологии, остается катастрофически низким (рис. 2) [2].

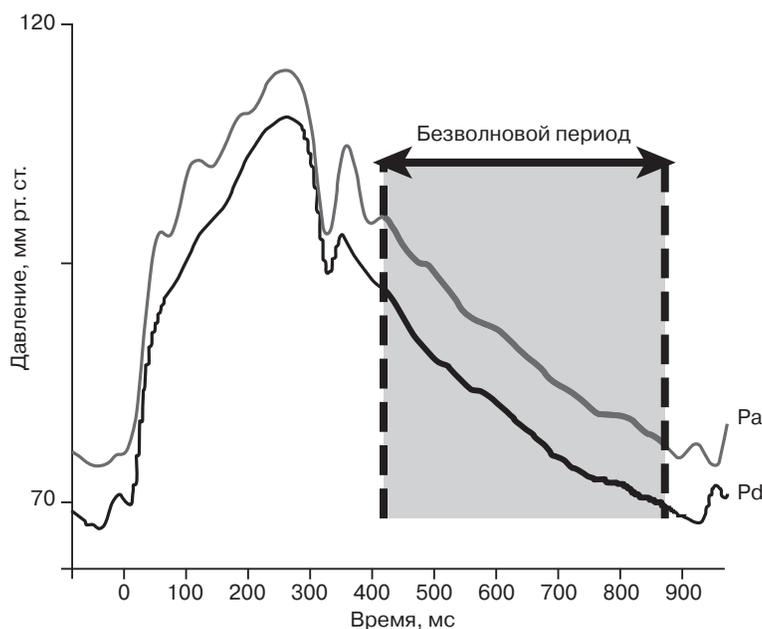


Рис. 1. Графическое отображение определения МРК в безволновом периоде.

Pa – давление в аорте; Pd – давление дистальнее стеноза

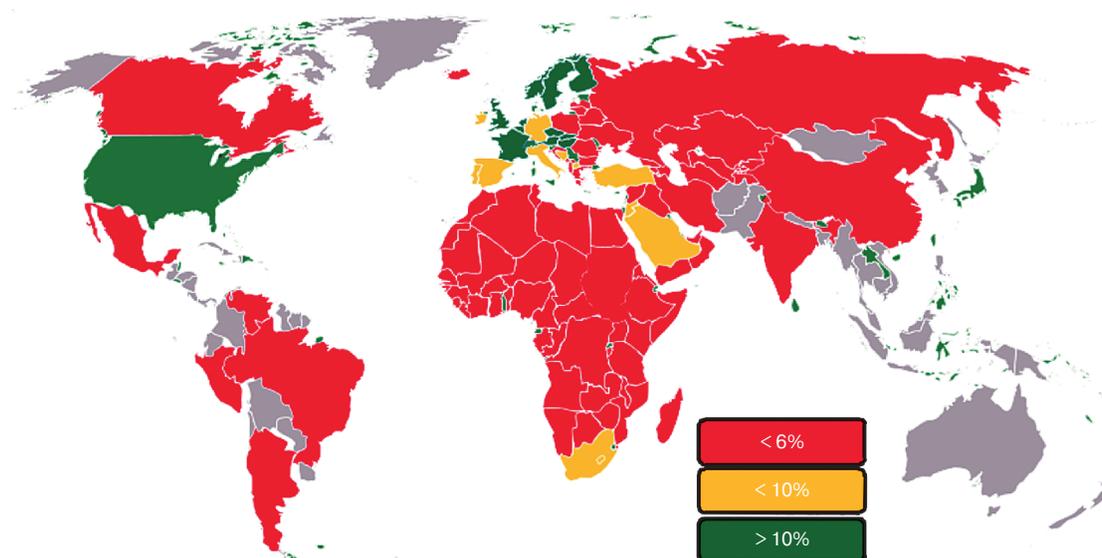


Рис. 2. Статистика применения инвазивных методов оценки интракоронарной физиологии

Сравнительная оценка диагностической значимости МРК и других методов исследования интракоронарной физиологии

В основе МРК лежит расчет гемодинамической значимости коронарного стеноза путем определения колебаний микрососудистой резистентности. Развитие стеноза в просвете коронарной артерии приводит к формированию микроциркуляторных коллатералей вокруг зоны поражения для компенсации коронарного гомеостаза и, как следствие, сохранению оптимальных показателей давления в коронарной артерии дистальнее стеноза. Так как при МРК трансстенотический градиент замеряется в безволновую фазу, эти данные можно считать объективными как при изолированных, так и при тандемных или диффузных поражениях коронарного русла [3].

В первых крупных исследованиях, посвященных изучению коронарной физиологии, сформулировали теорию анализа интенсивности коронарного давления в различные фазы сердечного цикла и возможности его оценки для определения тяжести коронарного стеноза [3, 4]. Несмотря на то что эти исследования являлись первичными,

именно они позволили установить физиологические основы измерения МРК и продемонстрировали диагностическую взаимосвязь с данными при измерении фракционного резерва кровотока (ФРК). Данное обстоятельство послужило первым шагом на пути к широкому внедрению МРК в практическую медицину.

Так, в 2013 г. при анализе данных регистра ADVISE результаты, полученные при измерении МРК, были сопоставимы с данными ФРК в 80% случаев [5]. В этом же году в исследовании CLARIFY (Classification Accuracy of Pressure-Only Ratios Against Indices Using Flow Study) сравнивались МРК и ФРК с индексом гиперемической резистентности стеноза (ГРС), а также проводилось отдельное сравнение диагностической значимости МРК, ФРК и ФРК с аденозином. Все методики имели равную диагностическую эффективность вне зависимости от условий искусственной гиперемии [6].

Еще одно, более крупное исследование, выполненное N.P. Johnson et al. аналогичным образом, сравнивало эффективность МРК и ФРК с ГРС у 120 пациентов со стенозами. Так, чувствительность МРК и ФРК была эквивалентной (95% против

95 соответственно; $p < 0,001$), специфичность для МРК превышала ФРК (88% против 90 соответственно; $p < 0,01$), также отмечалось, что диагностическая точность для МРК была достоверно выше по сравнению с ФРК (89,2% против 82,5 соответственно; $p < 0,01$). На основании данного исследования был сделан вывод, что МРК и ФРК имеют эквивалентную диагностическую ценность для выявления ишемии миокарда [7, 8].

В рамках многоцентрового сравнительного анализа RESOLVE выполнялась оценка диагностической точности МРК и ФРК. В ходе данного ретроспективного многоцентрового нерандомизированного исследования было оценено 1593 (81%) из 1974 поражений (381 поражение исключено из анализа из-за нарушения протокола выполнения сканирования). Результат показал умеренную корреляцию между МРК и ФРК с диагностической точностью 80,4% [9].

В свою очередь G. de Waard et al. проводили позитронно-эмиссионную томографию (ПЭТ) у 34 пациентов с 49 пограничными коронарными стенозами с последующей инвазивной оценкой давления. Как МРК, так и ФРК имели 76% соответствие с данными ПЭТ, также оба метода имели аналогичные показатели, указывающие на необходимость реваскуляризации (0,85 для ФРК и 0,86 для МРК; $p < 0,71$) [10]. Второе, более крупное исследование в этом направлении также продемонстрировало аналогичное классификационное соответствие между МРК и ФРК по сравнению с ПЭТ-оценкой резерва коронарного кровотока (74% для ФРК и 70% для МРК; $p < 0,36$) при 115 стенозах передней межжелудочковой ветви левой коронарной артерии [11].

Стоит отметить, что эффективность МРК и ФРК также сравнивалась с показателями неинвазивного измерения коронарного резерва кровотока (КРК). В исследовании JUSTIFY-CFR Study R. Petraco et al. отметили, что при измерении МРК, ФРК и КРК в 216 стенозах у 186 пациентов

МРК имел максимальное соответствие КРК, с наиболее значимой статистической достоверностью (МРК 0,82 против ФРК 0,72; $p < 0,001$). Даже при ограниченном физиологическом диапазоне от 0,60 до 0,90 данные, полученные при измерении МРК, были в большей степени схожи с КРК, чем с ФРК (0,78 против 0,59; $p < 0,001$) [12].

Важным аспектом данных исследований является демонстрация более тесной взаимосвязи МРК с КРК, а также более высокой чувствительности МРК к физиологическим изменениям интракоронарного кровотока по сравнению с ФРК.

Ранняя интеграция МРК в клиническую практику

Согласно первичной гибридной стратегии, при пограничных значениях МРК (0,86–0,93) выполнялось контрольное исследование ФРК с введением аденозина. Этот метод был предложен для того, чтобы избежать излишнего введения аденозина у 60–70% пациентов [13, 14]. Однако данные двух крупных рандомизированных клинических исследований DEFINE-FLAIR и IFR SWEDENHEART свидетельствуют о том, что метод определения МРК — это как минимум равносильная ФРК диагностическая методика.

Исследование DEFINE-FLAIR продемонстрировало, что результаты коронарной реваскуляризации, проводимой под контролем МРК, были сопоставимы с результатами реваскуляризации, проводимой под контролем ФРК в отношении риска развития первичной конечной точки (смерть, инфаркт миокарда, экстренная реваскуляризация), как в течение 1 года наблюдений, так и в конце исследования. Среди общей популяции из 2492 пациентов через 12 мес от начала исследования основная конечная точка отмечалась у 78 (6,79%) из 1148 пациентов в группе МРК и у 83 (7,02%) из 1182 пациентов в группе ФРК ($p = 0,78$). Через 2 года наблюдались сопоставимые результаты по частоте достижения основной конечной точки — 11,8%

в группе МРК и 10,5% в группе ФРК ($p=0,25$). Касательно неблагоприятных процедуральных осложнений отмечалось, что они развивались лишь у 39 (3,1%) пациентов в группе МРК, в то время как в группе ФРК жалобы на бронхоспазм, нарушение сердцебиения, приливы тепла предъявляли 385 (30,8%) пациентов ($p<0,001$). В свою очередь, среднее время выполнения процедуры было достоверно короче в группе МРК (40,5 мин против 45,0; $p<0,001$) [15].

Результаты исследования IFR SWEDENHEART были сопоставимы с результатами испытания DEFINE-FLAIR, а именно: среди пациентов со стабильной стенокардией или острым коронарным синдромом (ОКС) результаты реваскуляризации под контролем МРК были сопоставимы с результатами реваскуляризации под контролем ФРК по отношению к частоте развития больших сердечно-сосудистых событий через 1 год (первичное конечное событие). Среди 2037 пациентов, рандомизированных для реваскуляризации с использованием МРК или ФРК, первичное конечное событие произошло у 68 (6,7%) из 1012 пациентов в группе МРК и у 61 (6,1%) из 1007 – в группе ФРК. При выполнении исследования чувство дискомфорта, давящей боли за грудиной отмечалось у 3,0% пациентов в группе МРК и у 68,3% – в группе ФРК ($p<0,001$). Данное обстоятельство, вероятнее всего, было напрямую обусловлено вызванной гиперемией при выполнении ФРК [16].

В 2018 г. Y. Kawase et al. представили результаты своего исследования, направленного на минимизацию инвазивного диагностического вмешательства с сохранением диагностической значимости, а также возможности применения МРК в качестве метода оценки физиологических изменений в сосуде после чрескожного коронарного вмешательства (ЧКВ). Важно отметить, что все ЧКВ и измерения интракоронарной физиологии выполнялись с применением внутрисосудистого ультра-

звука (ВСУЗИ) и оптической когерентной томографии (ОКТ) для точного определения истинного диаметра сосуда и оценки степени раскрытия стента. В рамках этой работы авторы сопоставляли данные фактического МРК, полученного после ЧКВ с расчетным, «предикторным» значением МРК. Данное значение рассчитывалось по формуле: $iFR_{predicted} = pre-PCIiFR + (iFR_{proximal} - iFR_{distal})$. Кроме того, они пытались выявить потенциальные факторы, ведущие к ошибочному прогнозу, как при первичном сканировании, так и при оценке МРК после ЧКВ. Значения МРК для 73 поражений у 71 пациента сравнивались ретроспективно до и после коронарного вмешательства. Анатомическая протяженность поражения оценивалась с помощью ангиометрии, а пороговое значение разницы между «предикторным» МРК (предиктор) и фактическим МРК (после ЧКВ) было установлено равным 0,036. Однако в ходе многомерного регрессионного анализа в качестве независимого фактора риска остался только градиент остаточного давления, что привело к ошибочному анализу и прогнозированию результатов. Несмотря на это, после вычитания градиента остаточного давления корреляция между МРК (предиктор) и МРК (после ЧКВ) улучшилась. Дополнительными факторами риска, влияющими на остаточный градиент давления, по-видимому, являются небольшой диаметр имплантированного стента и высокий показатель Alberta Provincial Project for Outcome Assessment in Coronary Heart Disease, который рассчитывает количество крови, подаваемой в миокард целевым сосудом. Среди основных недостатков данного исследования сами авторы отметили достаточно малое число пациентов, что не позволило получить статистически достоверных результатов. Также само обстоятельство неравномерного применения различных методов внутрисосудистой визуализации (ОКТ в 21 случае, ВСУЗИ в – 52) и разницу в точности их измерений ставит под сомнение объективность полученных

данных внутрисосудистого диаметра и, как следствие, выявление предикторов физиологического исхода ЧКВ [17, 18].

Современное состояние вопроса применения МРК

В конце 2018 г. Европейское общество кардиологов (ESC) включило использование МРК в обновленные рекомендации по реваскуляризации миокарда (уровень доказательности А, класс I) (см. таблицу).

Несмотря на то что согласно рекомендациям МРК следует проводить вместе с ФРК для объективной оценки гемодинамической значимости коронарных поражений, данная методика имеет ряд существенных преимуществ перед стандартной ФРК [19].

В рекомендациях Японского общества кардиологов за 2019 г. также отмечено, что МРК сопоставимо с ФРК как при выполнении ЧКВ по поводу стабильного течения ишемической болезни сердца (ИБС), так и при ОКС [20].

В рекомендациях Американского колледжа кардиологов нет упоминания про МРК, тем не менее в 2017 г. было опубликовано расширение рекомендаций, рассматривающих возможность применения «ФРК или других альтернативных методов оценки внутрикоронарной физиологии, не требующих создания условий гиперемии» [21].

При оценке сосуда с множественными поражениями при проведении МРК создается полная гемодинамическая карта исследуемой коронарной артерии, которая позволяет индивидуально оценить каждый

стеноз. Поскольку МРК в отличие от ФРК выполняется в условиях физиологического покоя, механизмы авторегуляции в сосуде обеспечивают стабильный и постоянный кровоток, в связи с чем множественные и тандемные поражения не влияют на результат исследования и оцениваются вне зависимости друг от друга [22]. Данное обстоятельство считается крайне значимым при лечении диффузных поражений коронарных артерий, поскольку оптимальный выбор длины стента для достижения оптимального покрытия зоны поражения без чрезмерного покрытия металлическим каркасом коронарной артерии является залогом успеха при лечении данных поражений [23].

Клинически МРК может использоваться для физиологической оценки любого стеноза коронарной артерии с ангиометрическим значением 40–90%. Согласно кумулятивному мнению экспертов, а также последним клиническим рекомендациям, у пациентов с клиническими проявлениями ИБС и отрицательными данными нагрузочных проб на фоне стенокардии при значении МРК 0,89 или менее рекомендовано выполнение ЧКВ целевого сосуда. Пациентам с значением МРК, превышающим 0,93, обычно показана оптимизация медикаментозной терапии и дальнейшее консервативное лечение, в то время как у пациентов с показателем МРК 0,90–0,93 крайне рекомендовано выполнение референсного сканирования с использованием фракционного резерва кровотока для объективной оценки поражения [24].

Обновленные рекомендации Европейского общества кардиологов за 2018 г.

Рекомендации	Класс	Уровень
При отсутствии признаков ишемии рекомендовано использовать ФРК и МРК для оценки гемодинамической значимости пограничных поражений	I	A
ЧКВ под контролем ФРК стоит рассматривать у пациентов-кандидатов на ЧКВ, с многососудистым поражением	IIa	B
Применение ВСУЗИ стоит рассматривать для оценки тяжести поражения при ЧКВ на незащищенном стволе ЛКА	IIa	B

Заклучение

В настоящее время инвазивный ФРК является относительно устаревшим индексом измерения коронарной физиологии в обычной повседневной практике. Современные данные крупномасштабных исследований наравне с рекомендациями крупных ассоциаций, занимающихся лечением коронарной патологии, показывают, что использование МРК является равноценной альтернативой ФРК, особенно при условии, что МРК позволяет избежать неблагоприятных побочных эффектов от применения аденозина.

Также важно отметить, что МРК может быть оптимальным прогностическим инструментом для определения гемодинамической значимости инфаркт-несвязанных поражений у пациентов с ОКС при многососудистом поражении коронарного русла.

Литература [References]

1. Алекян Б.Г., Карапетян Н.Г., Мелешенко Н.Н. Роль моментального резерва кровотока при определении функциональной значимости поражений коронарных артерий у пациентов со стабильной ишемической болезнью сердца. *Эндоваскулярная хирургия*. 2019; 6 (2): 116–25. DOI: 10.24183/2409-4080-2019-6-2-116-125 [Alekyan B.G., Karapetyan N.G., Meleshenko N.N. The role of instantaneous wave-free ratio in determining the functional importance of coronary artery lesions in patients with stable coronary heart disease. *Russian Journal of Endovascular Surgery*. 2019; 6 (2): 116–25. DOI: 10.24183/2409-4080-2019-6-2-116-125 (in Russ.).]
2. Götzberg M., Cook Ch.M., Sen S., Nijjer S., Escaned J., Davies J.E. The evolving future of instantaneous wave-free ratio and fractional flow reserve. *J. Am. Coll. Cardiol.* 2017; 70 (11): 1379–402. DOI: 10.1016/j.jacc.2017.07.770
3. Wilson R.F., White C.W. Measurement of maximal coronary flow reserve: a technique for assessing the physiologic significance of coronary arterial lesions in humans. *Herz*. 1987; 12 (3): 163–76.
4. Meuwissen M., Chamuleau S.A., Siebes M., de Winter R.J., Koch K.T., Dijkstra L.M. et al. The prognostic value of combined intracoronary pressure and blood flow velocity measurements after deferral of percutaneous coronary intervention. *Catheter. Cardiovasc. Interv.* 2008; 71 (3): 291–7. DOI: 10.1002/ccd.21331
5. Petraco R., Escaned J., Sen S., Nijjer S., Asrress K.N., Echavarría-Pinto M. et al. Classification performance of instantaneous wave-free ratio (iFR) and fractional flow reserve in a clinical population of intermediate coronary stenoses: results of the ADVISE registry. *EuroIntervention*. 2013; 9 (1): 91–101. DOI: 10.4244/eijv9i1a14
6. Sen S., Asrress K.N., Nijjer S., Petraco R., Malik I.S., Foale R.A. et al. Diagnostic classification of the instantaneous wave-free ratio is equivalent to fractional flow reserve and is not improved with adenosine administration. Results of CLARIFY (classification accuracy of pressure-only ratios against indices using flow study). *J. Am. Coll. Cardiol.* 2013; 61 (13): 101.
7. Johnson N.P., Kirkeeide R.L., Asrress K.N. et al. Does the instantaneous wave-free ratio approximate the fractional flow reserve? *J. Am. Coll. Cardiol.* 2013; 61: 1428–35. DOI: 10.1016/j.jacc.2012.09.064
8. Sen S., Nijjer S., Petraco R., Malik I.S., Francis D.P., Davies J. Instantaneous wave-free ratio numerically different, but diagnostically superior to FFR? Is lower always better? *J. Am. Coll. Cardiol.* 2013; 62: 566. DOI: 10.1016/j.jacc.2013.03.076
9. Jeremias A., Maehara A., Génereux P., Asrress K.N., Berry C., DeBruyne B. et al. 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; 63 (13): 1253–61. DOI: 10.1016/j.jacc.2013.09.060. Epub 2013
10. De Waard G., Danad I., da Cunha RP. et al. Hyperemic FFR and baseline IFR have an equivalent diagnostic accuracy when compared to myocardial blood flow quantified by H215o PET perfusion imaging (abstr.). *J. Am. Coll. Cardiol.* 2014; 63: A1692. DOI: 10.1016/s0735-1097(14)61695-8
11. Hwang D., Jeon K.H., Lee J.M. et al. Diagnostic performance of resting and hyperemic invasive physiological indices to define myocardial ischemia: validation with 13N-ammonia positron emission tomography. *J. Am. Coll. Cardiol. Interv.* 2017; 10: 751–60. DOI: 10.1016/j.jcin.2016.12.015
12. Petraco R., van de Hoef T.P., Nijjer S. et al. Baseline instantaneous wave-free ratio as a pressure-only estimation of underlying coronary flow reserve: results of the JUSTIFY-CFR Study (Joined Coronary Pressure and Flow Analysis to Determine Diagnostic Characteristics of Basal and Hyperemic Indices of Functional Lesion Severity – Coronary Flow Reserve). *Circ. Cardiovasc. Interv.* 2014; 7: 492–502. DOI: 10.1161/circinterventions.113.000926
13. Petraco R., Park J.J., Sen S., Nijjer S.S., Malik I.S., Echavarría-Pinto M. et al. Hybrid iFR-FFR decision-making strategy: implications for enhancing universal adoption of physiology-guided coronary revascularisation. *EuroIntervention*. 2013; 8 (10) 20: 33. DOI: 10.4244/EIJV8I10A179
14. Escaned J., Echavarría-Pinto M., Garcia Garcia H.M. et al. ADVISE II Study Group. 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). *J. Am. Coll. Cardiol. Interv.* 2015; 8: 824–33. DOI: 10.1016/j.jcin.2015.01.029
15. Sen S., Ahmad Y., Dehbi H.-M., Howard J.P., Iglesias J.F. et al. Clinical events after deferral of lad revascularization following physiological coronary assessment. *J. Am. Coll. Cardiol.* 2019; 73 (4): 444–453. DOI: 10.1016/j.jacc.2018.10.070
 16. Götzberg M., Christiansen E.H., Gudmundsdottir I.J., Sandhall L., Danielewicz M. et al. Instantaneous wave-free ratio versus fractional flow reserve to guide PCI. *N. Engl. J. Med.* 2017; 376: 1813–23. DOI: 10.1056/NEJMoa1616540
 17. Kawase Y., Kawasaki M., Kikuchi J., Hirata T., Okamoto S., Tanigaki T. et al. Residual pressure gradient across the implanted stent: An important factor of post-PCI physiological results. *J. Cardiol.* 2018; 71: 458–63. DOI: 10.1016/j.jjcc.2017.10.022
 18. Graham M.M., Faris P.D., Ghali W.A., Galbraith P.D., Norris C.M., Badry J.T. APPROACH Investigators (Alberta Provincial Project for Outcome Assessment in Coronary Heart Disease. Validation of three myocardial jeopardy scores in a population-based cardiac catheterization cohort. *Am. Heart J.* 2001; 142: 254–62. DOI: 10.1067/mhj.2001.116481
 19. Neumann F.-J., Sousa-Uva M., Ahlsson A., Alfonso F., Banning A.P., Benedetto U. et al. ESC Scientific Document Group, 2018 ESC/EACTS Guidelines on myocardial revascularization. *Eur. Heart J.* 2019; 40 (2): 87–165. DOI: 10.1093/eurheartj/ehy394
 20. Kimura K., Kimura T., Ishihara M., Nakagawa Y., Nakao K.J.C.S. 2018 Guideline on Diagnosis and Treatment of Acute Coronary Syndrome. *Circ. J.* 2019; 83 (5): 1085–196. DOI: 10.1253/circj.CJ-19-0133. Epub 2019.
 21. Patel M.R., Calhoun J.H., Dehmer G.J., Grantham J.A., Maddox Th.M., Maron D.J., Smith P.K. ACC/AATS/AHA/ASE/ASNC/SCAI/SCCT/STS 2017 Appropriate Use Criteria for Coronary Revascularization in Patients With Stable Ischemic Heart Disease A Report of the American College of Cardiology Appropriate Use Criteria Task Force, American Association for Thoracic Surgery, American Heart Association, American Society of Echocardiography, American Society of Nuclear Cardiology, Society for Cardiovascular Angiography and Interventions, Society of Cardiovascular Computed Tomography, and Society of Thoracic Surgeons. *J. Am. Coll. Cardiol.* 2017; 69 (17): 2212–41. DOI: 10.1016/j.jacc.2017.02.001
 22. Nijjer S.S., Sen S., Petraco R., Escaned J., Echavarría-Pinto M., Broyd C., Al-Lamee R., Foin N., Foale R.A., Malik I.S. Pre-angioplasty instantaneous wave-free ratio pullback provides virtual intervention and predicts hemodynamic outcome for serial lesions and diffuse coronary artery disease. *JACC Cardiovasc. Interv.* 2014; 7: 1386–96. DOI: 10.1016/j.jcin.2014.06.015
 23. Nijjer S.S., Sen S., Petraco R., Mayet J., Francis D.P., Davies J.E. The Instantaneous wave-Free Ratio (iFR) pullback: a novel innovation using baseline physiology to optimise coronary angioplasty in tandem lesions. *Cardiovasc. Revasc. Med.* 2015; 16: 167–71. DOI: 10.1016/j.carrev.2015.01.006
 24. Coughlan J.J., MacDonnell C., Arnous S., Kieran T.J. Fractional flow reserve in 2017: current data and everyday practice. *Expert Rev. Cardiovasc. Ther.* 2017; 15 (6): 457–72. DOI: 10.1080/14779072.2017.1327810