

ИНВАЗИВНЫЕ МЕТОДЫ ВЫЯВЛЕНИЯ ИШЕМИИ МИОКАРДА В ЭНДОВАСКУЛЯРНОЙ ХИРУРГИИ

Ермаков Д.Ю.*

ФГБУ «Национальный медико-хирургический Центр имени Н.И. Пирогова» Минздрава России, Москва

DOI: 10.25881/BPNMSC.2020.83.29.020

Резюме. Рассматриваются современные инвазивные методы выявления ишемии миокарда в эндоваскулярной хирургии: фракционный резерв кровотока, моментальный резерв кровотока. Анализируются перспективы внедрения новых электрофизиологических методов для осуществления интраоперационного мониторинга состояния сердечной мышцы.

Ключевые слова: фракционный резерв кровотока, моментальный резерв кровотока, ЭКГ из венечного синуса, ишемия миокарда.

Инвазивная диагностика ишемии миокарда (ИшМ) у больных ИБС берет свое начало от прямой двухмерной визуализации коронарных артерий (КА), результаты которой могут быть эмпирически интерпретированы врачом-специалистом и подвергнуты простейшему машинному анализу. Первая в мире коронароангиография (КАГ) была выполнена кардиологом F. Sones в г. Кливленд в 1958 г. в ходе выполнения плановой вентрикулографии у больного со стенозом митрального клапана. После этого КАГ была признана важным диагностическим методом и рекомендована для повсеместного применения в клинической практике, произведя революцию в эндоваскулярной хирургии [1].

Позднее, смещение фокуса применения транскатетерных технологий от диагностики к непосредственному лечению больных ИБС обнаружило недостатки прямой КАГ. В своей основе ангиография позволяет на основании визуального или количественного анализа двухмерных изображений судить о влиянии изменения гемодинамических параметров коронарного кровотока в зоне стеноза на состояние миокарда, но не дает возможности в полной мере обнаружить ИшМ. Помимо этого, результаты КАГ сложно интерпретировать и определять дальнейшую тактику лечения больных ИБС при наличии «пограничных» и эксцентричных стенозов КА [1; 8].

Следующим этапом в развитии инвазивных визуализирующих методик в интервенционной хирургии стало внедрение внутрисосудистого ультразвукового исследования. Первая модель ультразвуковых внутрисосудистых катетеров была разработана N. Vom и соавт. в 1972 г., а в 80-х гг. XX в. P.G. Yock и соавт. создали портативную одноэлементную систему для получения поперечных срезов сосуда и опубликовали первые результаты использования

INVASIVE METHODS FOR THE STUDY OF MYOCARDIAL ISCHEMIA IN INTERVENTIONAL CARDIOLOGY

Ermakov D.Yu.*

Pirogov National Medical and Surgical Center, Moscow

Abstract. This manuscript discusses modern invasive methods for detecting myocardial ischemia in interventional cardiology: fractional flow reserve, instantaneous wave-free ratio. The prospects of introducing new electrophysiological methods for the implementation of intraoperative monitoring of the state of the heart muscle are analyzed.

Keywords: fractional flow reserve, instantaneous wave-free ratio, ECG from the coronary sinus, myocardial ischemia.

нового поколения внутрисосудистой ультразвуковой техники *in vivo* [6; 7]. Однако, несмотря на высокую диагностическую ценность ВСУЗИ в отношении качественного анализа атеросклеротических бляшек, количественные данные, получаемые при помощи этого метода, не позволяют применять его для объективизации ИшМ [6; 7].

Предпринимаемые попытки выявления ИшМ при помощи внутрисосудистой доплерографии тоже не увенчались большим успехом. Ввиду отсутствия возможности отличить патологию магистральных КА от поражения микроциркуляторного русла, метод не получил широкого распространения в клинической практике [7].

Таким образом, следующей вехой в истории развития инвазивных способов верификации ишемии у больных ИБС становится внедрение методов внутрисосудистых нагрузочных проб, призванных более точно выявить ишемию путем оценки функциональной значимости отдельного стеноза КА при помощи непосредственного анализа изменений физических характеристик коронарного кровотока [7].

Метод определения фракционного резерва кровотока (ФРК)

В последнее время метод ФРК стал наиболее распространенным среди инвазивных методик, позволяющих выявить ИшМ на основании данных о функциональной значимости стенозов КА [2; 3; 4; 7]. Индекс ФРК определяется как отношение максимальной скорости кровотока в стенозированной артерии дистальнее исследуемого стеноза к максимальной скорости кровотока в той же артерии при отсутствии в ней каких-либо изменений. Учитывая, что при создании в КА максимальной гиперемии

* e-mail: ermakov.hs@gmail.com

скорость венозного кровотока прямо пропорциональна давлению, определение значения ФРК может проводиться как на основании измерения скоростных потоков, так и путем определения разницы давления за исследуемым стенозом и в аорте, как эквивалента давления в исследуемой артерии при условии отсутствия стеноза [3; 4; 6].

В связи с вышерассмотренными ограничениями при оценке скоростных показателей, на практике индекс ФРК определяется как отношение среднего давления дистальнее исследуемого стеноза к давлению в аорте и рассчитывается по минимальному значению отношения Pd/Pa после введения гиперемического препарата: $ФРК = Pd/Pa$, где Pd — давление, измеренное за исследуемым стенозом, Pa — давление в аорте [2; 3]. Так как при расчете определяется отношение двух значений давления, индекс ФРК не имеет существенной зависимости от изменения таких параметров гемодинамики как ЧСС, АД, сократимость ЛЖ и обладает высокой воспроизводимостью. Данный метод также учитывает коллатеральный кровоток и отношение тяжести стеноза к массе миокарда [4; 7].

Измерение давления производят с помощью специального ФРК-проводника — интракоронарного инструмента с гибким кончиком, имеющим датчик давления. При этом само измерение проводится в течение всего сердечного цикла с максимальной гиперемией, достигаемой с помощью внутривенной или интراكоронарной инъекции вазодилаторов. Цель создания гиперемии — достижение максимального кровотока за счет уменьшения сосудистого сопротивления [5; 11].

При использовании метода ФРК наиболее часто применяется внутривенное или интراكоронарное введение аденозина (США, ЕС и др.) [11]. Необходимо отметить тяжелые побочные эффекты, возникающие при его применении — от ухудшения субъективного состояния больного до возникновения нарушений проводимости и ритма сердца.

В РФ для создания максимальной гиперемии миокарда применяется папаверин, так как использование аденозина с целью проведения инвазивных функциональных проб не зарегистрировано. Интراكоронарное введение папаверина провоцирует возникновение ряда побочных эффектов: головокружение, чувство жара, тошноту, удлинение интервала QT, которое может привести к индукции полиморфной желудочковой тахикардии и фибрилляции желудочков [11].

В настоящее время определение ФРК используется для обнаружения ИШМ при планировании эндоваскулярных вмешательств в области бифуркаций КА, когда данных КАГ недостаточно для принятия решения о тактике интервенции. В случае наличия у больного множественных стенозов одной КА, метод ФРК позволяет определить гемодинамически значимые поражения [6; 7]. ФРК также может быть применен для анализа эффективности эндоваскулярного вмешательства на КА.

Высокая прогностическая ценность метода ФРК показана в ряде работ. В исследование DEFER было включено 325 больных ИБС с обнаруженными в ходе КАГ «погранич-

ными» стенозами КА. Изначально все пациенты были разделены на две группы: в первой группе интервенционное вмешательство проводилось при значении ФРК $< 0,75$, а во второй группе стентирование выполнялось всем больным только на основании данных КАГ (стеноз КА более 50%). До ЧКВ у всех больных было определено значение ФРК. Пациенты обеих групп, которые имели значение ФРК $< 0,75$, были объединены в референтную подгруппу. Оставшиеся больные первой группы были отнесены в подгруппу медикаментозной терапии (МТ). Во второй группе из пациентов, имеющих значение ФРК $\geq 0,75$, авторы исследования сформировали подгруппу рутинного интервенционного вмешательства на КА. Так, в конце исследования больные ИБС были разделены на три подгруппы: МТ, рутинного коронарного стентирования по данным КАГ и референтную подгруппу пациентов с ФРК $< 0,75$, которым также было выполнено КС. Результаты исследования в референтной подгруппе свидетельствовали о большей частоте сердечно-сосудистых событий (МАСЕ, Major Adverse Cardiac Events), чем в подгруппах МТ и рутинного КС (15,7% против 3,3% и 7,9%, соответственно, $p < 0,003$). При сравнении частоты МАСЕ между подгруппами МТ и КС на основании КАГ достоверной разницы выявлено не было (3,3% против 7,9%, $p = 0,21$). Таким образом, было выявлено, что значение ФРК $< 0,75$ указывает на сравнительно более высокий риск возникновения МАСЕ [23].

В другом крупном многоцентровом рандомизированном исследовании FAME II были проанализированы двухлетние исходы больных стенокардией, получающих медикаментозную терапию ($n = 441$), и пациентов после стентирования с применением ФРК, также получающих МТ ($n = 447$). Авторами было показано, что в группе эндоваскулярного вмешательства в сравнении с группой МТ было выявлено снижение частоты возникновения МАСЕ. Однако, последующий анализ выявил, что снижение МАСЕ в группе КС было достигнуто за счет уменьшения частоты экстренной реваскуляризации миокарда (3,4% против 7,0%, соответственно, $p < 0,001$) [22].

Важно отметить существование «серой зоны» показателей ФРК, в которой выявление ИШМ 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 ИШМ, вследствие чего осложняют принятие решения о характере необходимого эндоваскулярного вмешательства [20].

М. Megaly et al. (2019) опубликовали мета-анализ, объединивший 7 исследований и 2683 больных ИБС с «пограничными» поражениями КР и данными значений ФРК, находящиеся в «серой зоне», части которых было выполнено КС, а остальным назначена оптимальная МТ. Авторы пришли к выводам, что в период 2,5-летнего наблюдения у группы пациентов, перенесших коронарное стентирование, уменьшилась частота реваскуляризации целевой КА, однако не было выявлено снижение вероят-

ности возникновения MACE по сравнению с группой МТ [20].

Ограничение метода ФРК в объективизации ишемии в «проблемных» случаях была решена методически: в гайдлайнах по реваскуляризации миокарда 2014 г. ESC/EACTS рекомендовали исключить «серую зону» и упростить интерпретацию значения ФРК до простого разделения на положительный результат при значениях $\leq 0,8$ и отрицательный при значениях $> 0,8$ [28]. В последнем аналогичном документе ESC/EACTS 2018 г. подход к интерпретации значений ФРК не претерпел изменений [21].

Помимо проблемы «серой зоны» значений ФРК, A. Soares et al. (2020), T.P. van de Hoef et al. (2014) в своих исследованиях описывают, что патология периферического микрососудистого русла миокарда может повлиять на результаты обнаружения ишемии за счет изменения постстенотического интракоронарного давления [27]. Технические ограничения метода ФРК в своих исследованиях описали A. Jeremias et al. (2017) и S. Jerabek et al. (2018). По данным авторов, при анализе ИшМ 10% результатов метода сложны для интерпретации специалистом вследствие изменения формы кривой давления ФРК на мониторе, и 17% трудны для описания из-за ее смещения [18; 19].

Необходимо отметить, что точность ФРК оценивалась в сравнении с неинвазивными методами обнаружения ИшМ — стресс-ЭхоКГ, однофотонной эмиссионной компьютерной томографии (ОФЭКТ) миокарда и позитронно-эмиссионной томографии [3; 12], которые не имеют абсолютной чувствительности и специфичности к ишемии.

Использование ФРК имеет ряд лимитирующих факторов для применения 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 [4]. 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 [5]. 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, M. Abo-Aly et al. (2018) отмечают, что внутривенное введение аденозина сопряжено с дополнительным риском возникновения побочных эффектов. Интракоронарная инъекция вазодилататора может снизить достоверность получаемого значения ФРК, и, будучи сопряжена с меньшими рисками для больного, полностью их не исключает [11].

По данным причинам ряда пациентов, несмотря на наличие показаний, определение ФРК не производится. Так, по данным Американского Кардиологического колледжа (ACC, American College of Cardiology) за 2017 г. в США оценка ФРК проводилась в процессе коронарного стентирования лишь в 6,1% случаев. 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.

Метод определения моментального резерва кровотока

Метод МРК, который позиционируется, как альтернатива ФРК, предложили для клинического применения семь лет назад. Алгоритмы и механизмы исследования с помощью МРК и ФРК во многом похожи. В момент расчета МРК при помощи ФРК-проводника анализируется отношение давления в аорте и дистальнее стеноза КА, но техника измерения характеристик венечного кровотока при этом отличается [2; 3].

При определении значения ФРК давление исследуется во время всего сердечного цикла с использованием искусственной гиперемии, а при измерении МРК — только в отдельный промежуток диастолы без индуцирования усиленной перфузии [3; 6]. Основой метода МРК является допущение, согласно которому в определенный момент диастолы сопротивление микроциркуляторного звена КР по естественным причинам является стабильным и минимальным [6]. Этот диастолический период был назван «безволновым» («wave free period»). Так, отношение среднего давления в аорте и КА дистальнее стеноза, вычисленное по специализированному протоколу в данный временной промежуток, можно использовать с целью оценки гемодинамической значимости стеноза КА аналогично ФРК [4; 6]. При этом, преимуществом индекса МРК по сравнению с ФРК является отсутствие необходимости в создании искусственной гиперемии, что определяет снижение возможных интраоперационных рисков и способствует снижению финансовых затрат на исследование [5].

Точность метода МРК в отношении ишемии была проанализирована в ряде исследований, результаты которых неоднозначны. В первой работе по определению диагностической ценности этого метода — работе ADVISE — для получения референсных значений применялась методика ФРК. Одной из базовых гипотез являлось допущение о сопоставимости показаний внутрикоронарного сопротивления в «безволновой» период, а также во время искусственной гиперемии. Авторами была показана тесная корреляция обеих методик и высокая диагностическая ценность МРК (чувствительность — 85%, специфичность — 91%) [25]. Однако другое исследование VERIFY, имеющее аналогичную структуру, напротив, выявило низкую корреляцию методик МРК и ФРК ($r < 0,27$ при сравнении значений от 0,6 до 0,9) и

ошибочность тезиса о сопоставимости значений характеристик коронарного кровотока, полученных при помощи обоих методов (среднее значение МРК $0,82 \pm 0,16$ против среднего значения МРК на фоне гиперемии $0,64 \pm 0,18$, $p < 0,0001$) [14].

С учетом такого разногласия крайне важной оказалась работа CLARIFY, целью которой было, помимо анализа диагностической ценности МРК и ФРК, также и изучение клинической точности МРК, измеряемого в условиях искусственной гиперемии. По полученным данным, диагностическая точность МРК и ФРК в выявлении ишемии достоверно не различалась: площадь под ROC-кривой МРК — 0,93 (95% доверительный интервал (ДИ): 0,85–1,00) против площади под ROC-кривой ФРК — 0,96 (95% ДИ: 0,89–1,00), $p = 0,45$. Помимо этого, применение МРК на фоне введения вазодилатора не повысило точность методики: площадь под ROC-кривой МРК — 0,93 (95% ДИ: 0,85–1,00) против площади под ROC-кривой ФРК на фоне искусственной гиперемии — 0,94 (95% ДИ: 0,85–1,00), $p = 0,48$ [24].

Позже был проведен большой международный анализ данных — исследование RESOLVE. В него были включены результаты работ, указанных выше: VERIFY, ADVISE и CLARIFY. Авторы обнаружили среднюю корреляцию среди значений ФРК и МРК, при диагностической точности МРК, равной 80%. При этом клиническая ценность МРК может быть значительно увеличена (>90%) в случае исключения из анализа параметров МРК в промежутке между 0,89 и 0,96 — «серой зоны» значений.

В двух недавних крупных клинических исследованиях выявлена сравнимая ценность методов ФРК и МРК при обнаружении ИШМ у больных ИБС с «пограничными» стенозами КА [13]. В этих работах в качестве достоверного индекса ФРК применялось значение $\leq 0,8$, для МРК — $\leq 0,89$. В исследовании DEFINE-FLAIR сравнивалась частота возникновения МАСЕ у больных ИБС после КС. В одной группе пациентов эндоваскулярное вмешательство осуществлялось с использованием данных ФРК, во второй — при анализе значений МРК. Частота МАСЕ на протяжении 12 месяцев наблюдения составила 6,8% в когорте МРК и 7% в группе метода ФРК. Статистически достоверной разницы между группами выявлено не было (95% ДИ: 0,68–1,33, $P = 0,78$). Другая работа — iFR-SWEDEHEART — имела похожий дизайн. В качестве МАСЕ в этом исследовании рассматривались случаи необходимости экстренного ЧКВ, ИМ и общая смертность. Частота данных осложнений в группе ФРК составила 6,1%, МРК — 6,7%. Достоверной разницы между группами не было выявлено (95% ДИ: 0,79–1,58, $P = 0,53$) [13]. Стоит отметить, что 17,5% пациентов, включенных в исследование, имели различные виды ОКС, что, однако, не оказало влияния на полученные результаты. Основным недостатком этих работ является короткий период наблюдения — 1 год с момента рандомизации.

Для увеличения точности получаемых результатов был разработан специальный протокол инвазивной оцен-

ки функциональной значимости стенозов КА — «гибридный» протокол МРК/ФРК («hybrid iFR-FFR approach»). По указанному алгоритму при получении значений МРК свыше 0,93 стеноз КА считается функционально незначимым, при значении менее 0,86 — значимым. При результатах МРК, попадающих в интервал «серой зоны» (0,86–0,93), рекомендовано использовать ФРК по стандартизированной методике. Необходимость сочетания МРК со стандартным расчетом ФРК заключается в том, что при получении значений, соответствующих «серой зоне», МРК значительно уступает методу ФРК в точности [4].

Клиническое применение этого варианта проведения исследования была проанализирована в ряде исследований. В первом из них, проведенном Petraso R. et al. (2013), прогностическая значимость положительного результата МРК ($< 0,86$) составила 92%, а прогностическая ценность отрицательного результата, полученного при помощи МРК ($> 0,93$), — 91% [155]. Позднее было проведено самое крупное исследование, посвященное «гибридному» протоколу ФРК/МРК — ADVISE II. В данную работу было включено 598 больных ИБС с 46 690 «пограничными» стенозами КА. Значения МРК и ФРК были последовательно зафиксированы во всех случаях. Анализ полученных данных выполнялся с применением «гибридного» алгоритма МРК/ФРК. Авторами было показано, что между данными МРК и ФРК имеется умеренная корреляция ($r = 0,81$, $p < 0,001$). Чувствительность и специфичность при использовании МРК в качестве самостоятельного метода с оптимальным пороговым значением 0,89 составили 73,0% и 87,8%, соответственно, а при использовании МРК в рамках «гибридного» алгоритма — 90,7% и 96,2%, соответственно [17].

На сегодняшний день МРК не может быть полностью валидирован с целью его использования в качестве самостоятельного метода выявления ИШМ по данным характеристик венозного кровотока в зоне стеноза КА. В настоящий момент отсутствуют рандомизированные исследования, в которых сравнивались бы результаты КС на основе функциональной оценки стенозов при помощи МРК с определением тактики вмешательства по данным только КАГ, а также с применением оптимальной МТ [21]. Помимо этого, малое количество работ, посвященных «гибридному» протоколу ФРК/МРК, создает пробелы в доказательности, а усложнение и удлинение процедуры выявления ИШМ определяет ее низкую клиническую применимость в условиях рентгеноперационной.

Таким образом, все существующие инвазивные методы объективизации ИШМ не лишены недостатков. Прямая визуализация поражений КР различными методами не может дать полной информации о недостаточности коронарного кровоснабжения. Инвазивные нагрузочные пробы имеют ряд рисков и ограничений, и при этом позволяют осуществлять верификацию ишемии только на основании данных гемодинамики по отдельному стенозу КА на ограниченном промежутке времени [2; 3; 5; 21].

В настоящее время в эндоваскулярной хирургии не существует способов инвазивного непрерывного мониторинга ишемии миокарда в целом, не требующих технически сложных манипуляций. Перспективным направлением в решении данной проблемы представляется внедрение технологий электрофизиологического исследования с последующей унификацией метода для дальнейшего применения в РЭВХ.

Перспективы применения инвазивных электрофизиологических методов выявления ИшМ

Все существующие на сегодняшний день методы выявления ИшМ в РЭВХ основаны на концепции верификации ишемии через анализ гемодинамических характеристик интракоронарного кровотока в отдельной зоне КР. Применение внутривенечных нагрузочных проб или использование «гибридных протоколов» достаточно эффективно в отношении оценки функциональной значимости стенозов КА, хотя и имеет некоторые пробелы в доказательности и технические ограничения. Обнаружение ишемии таким способом предполагает затратные по времени и технически сложные манипуляции с заведением специальных инструментов в КР на различных этапах коронарного стентирования. Полученные данные могут быть сложны для интерпретации. Однако, главным лимитирующим фактором всех инвазивных методов обнаружения ИшМ является получение информации лишь об одном поражении КР в отдельный момент времени.

Электрофизиологические способы выявления ишемии позволяют непрерывно мониторировать состояние миокарда пациента. Однако, в условиях рентгеноперационной, в связи с отсутствием возможности наложения электродов грудных отведений, которые затрудняют визуализацию при рентгеноскопии, существующие методики регистрации ЭКГ не позволяют в полной мере оценить ИшМ. Перспективным электрофизиологическим способом непрерывного мониторинга степени и локализации ИшМ в рентгенэндоваскулярной хирургии представляется метод ЭКГ из венозного синуса (ЭКГ-ВС), предложенный Ю.Л. Шевченко (2018) [9; 10; 26]. Унификация инвазивной ЭКГ с использованием станции для электрофизиологического исследования (СтЭФИ) предполагает отказ от технически сложных манипуляций по заведению инструментария в КР и позволяет путем катетеризации венозного синуса (ВС) непрерывно получать информацию о состоянии миокарда и выполняться рутинно.

В основе применения ЭКГ-ВС в РЭВХ лежат фундаментальные теоретические и экспериментальные данные о развитии ИшМ: биохимические и ионные изменения кардиомиоцитов в момент ишемии, определяющие изменения кардиоэлектрического поля; последнее может быть подвергнуто непосредственному инструментальному анализу с целью получения клинических данных [9; 10].

Шевченко Ю.Л. и соавт. (2019) проанализировали возможность выявления ИшМ с помощью внутрисер-

дечного 10-канального электрода и СтЭФИ. Была доказана высокая точность ЭКГ-ВС в отношении ИшМ при эндоваскулярных вмешательствах в бассейне передней нисходящей коронарной артерии (ПНА) [10].

В следующей работе Шевченко Ю.Л. и соавт. (2020) провели исследование эффективности применения ЭКГ из венозного синуса при коронарных интервенциях на всех коронарных артериях. 72 больных ИБС были разделены на три группы: в I группу вошли 32 (44%) пациента с поражением передней нисходящей артерии (ПНА), во II группу 19 (26%) больных ИБС с поражением огибающей артерии (ОА), в III группу 21 (30%) пациент с поражением правой коронарной артерии (ПКА). Было определено, какие из внутрисердечных отведений отвечают за ишемическую динамику сегмента ST в разных бассейнах коронарного русла: CS 1–2, CS 3–4 — бассейн ПНА; CS 3–4, CS 5–6 — бассейн ОА; CS 7–8, CS 9–10 — бассейн ПКА. По данным ЭКГ-ВС, при максимальном ишемическом воздействии (в момент имплантации стента) средние значения отклонения сегмента ST от изолинии составили: при интервенции в ПНА — депрессия в отведениях CS 1–2 — $0,12 \pm 0,03$ мВ, CS 3–4 — $0,1 \pm 0,02$ мВ; элевация — $0,14 \pm 0,04$ мВ и $0,11 \pm 0,02$ мВ, соответственно; ОА — депрессия сегмента ST в отведениях CS 3–4 — $0,11 \pm 0,02$ мВ, в CS 5–6 — $0,11 \pm 0,02$ мВ; элевация — $0,12 \pm 0,02$ мВ и $0,15 \pm 0,03$ мВ, соответственно; ПКА — депрессия сегмента ST в отведениях CS 7–8 — $0,1 \pm 0,01$ мВ, CS 9–10 — $0,12 \pm 0,02$ мВ; элевация — $0,13 \pm 0,02$ мВ, и $0,14 \pm 0,03$ мВ, соответственно [9].

Таким образом, метод ЭКГ-ВС представляется перспективной альтернативой и дополнением к существующим методам выявления ИшМ в эндоваскулярной хирургии. Дальнейший прогресс в области интраоперационной объективизации ишемии связан с представлением данных на основе принятой математической модели электрического генератора сердца в биофизических и электрофизиологических терминах, с привязкой к анатомическим ориентирам сердца. Такое представление существенно облегчает анализ данных и в сочетании с эмпирическими количественными подходами позволяет поднять интраоперационный мониторинг ишемии на более высокий уровень.

Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов (The author declare no conflict of interest).

ЛИТЕРАТУРА/REFERENCES

1. Алекаян, Б.Г., Григорьян А.М., Стаферов А.В. Рентгенэндоваскулярная диагностика и лечение заболеваний сердца и сосудов в Российской Федерации. — М.: Ла График, 2017. — 220 с. [Alekyan BG, Grigor'yan AM, Stafirov AV. *Rentgenendovaskulyarnaya diagnostika i lechenie zabolevanii serdtsa i sosudov v Rossiiskoi Federatsii*. Moscow: La Grafik; 2017. 220 p. (In Russ).]
2. Даренский Д.И., Грамович В.В., Жарова Е.А., и др. 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. — Т.89. — №4. — С. 15–21. [Darenskii 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.
3. Даренский Д.И., Грамович В.В., Жарова Е.А., и др. 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. — Т.57. — №8. — С. 11–19. [Darenskii DI, Gramovich VV, Zharova EA, 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.
 4. Даренский Д.И., Грамович В.В., Жарова Е.А., и др. Определение пороговых значений моментального резерва кровотока при оценке функциональной значимости стенозов коронарных артерий пограничной степени тяжести с использованием неинвазивных методов верификации ишемии миокарда в качестве стандарта // *Евразийский кардиологический журнал.* — 2016. — №4. — С. 34–41. [Darenskii DI, Gramovich VV, Zharova EA, et al. Optimal cut-off points of instantaneous wave-free ratio in the assessment of the functional significance of coronary artery stenoses using noninvasive methods as reference. *Evrziskii kardiologicheskii zhurnal.* 2016;(4):34–41. (In Russ.)]
 5. Матчин Ю.Г., Грамович В.В., Даренский Д.И., и др. Использование метода моментального резерва кровотока в сравнении с фракционным резервом кровотока при оценке физиологической значимости пограничных коронарных стенозов // *Кардиологический вестник.* — 2015. — Т.10. — №1. — С. 38–43. [Matchin YuG, Gramovich VV, Darenskii DI, et al. Method of instantaneous wave-free ratio in comparison with fractional flow reserve in assessment of the physiological significance of intermediate coronary stenosis. *Kardiologicheskii vestnik.* 2015;10(1):38–43. (In Russ.)]
 6. Прищеп О.А., Максимкин Д.А., Файбушевич А.Г., и др. Значение современных внутрисосудистых методов визуализации коронарных артерий при проведении экспертизы профессиональной пригодности и диагностике ишемической болезни сердца // *Трудный пациент.* — 2016. — Т.14. — №10–11. — С. 10–15. [Prishchep OA, Maksimkin DA, Faibushevich AG, et al. The significance of modern intravascular imaging of coronary arteries in the examination of professional competence and the diagnosis of coronary heart disease. *Trudnyi patsient.* 2016;14(10–11):10–15. (In Russ.)]
 7. Прищеп О.А., Максимкин Д.А., Шугушев З.Х. Роль внутрисосудистых методов исследования в верификации диагноза ИБС у работников ОАО «Российские железные дороги», связанных с безопасностью движения поездов // *Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: медицина.* — 2017. — Т.21. — №2. — С. 246–258. [Prishchep OA, Maksimkin DA, Shugushev ZKh. The role of intravascular methods of research to verify the diagnosis of coronary heart disease in workers of JSC «Russian railways» related to the safety of train traffic. *RUDN Journal of Medicine.* 2017;21(2):246–258. (In Russ.)] Doi: 10.22363/2313-0245-2017-21-2-246-258.
 8. Шевченко Ю.Л., Борисов И.А., Виллер А.Г., и др. Возможности современных эндоваскулярных технологий в лечении тяжелых форм ишемической болезни сердца // *Качество жизни. Медицина.* — 2003. — Т.2. — С. 28. [Shevchenko YuL, Borisov IA, Viller AG, et al. Vozможности sovremennykh endovaskulyarnykh tekhnologii v lechenii tyazhelykh form ishemicheskoi bolezni serdtsa. *Kachestvo zhizni. Meditsina.* 2003;2:28. (In Russ.)]
 9. Шевченко Ю.Л., Масленников М.А., Ермаков Д.Ю., и др. Внутрисердечная электрокардиография из венозного синуса как унифицированный метод мониторинга степени и локализации ишемии миокарда при эндоваскулярных вмешательствах на коронарных артериях // *Вестник Национального медико-хирургического Центра им. Н.И. Пирогова.* — 2020. — Т.15. — №2. — С. 26–30. [Shevchenko Yu.L., Maslennikov M.A., Ermakov D.Yu., Gerashchenko A.V., Vahrameeva A.YU. Vnutriserdechnaya elektrokardiografiya iz venechnogo sinusa kak unificirovannyi metod monitoringa stepeni i lokalizatsii ishemii miokarda pri endovaskulyarnykh vmeshatel'stvakh na koronarnykh arteriyah. *Vestnik Natsional'nogo mediko-khirurgicheskogo Tsentra im. N.I. Pirogova.* 2020;15(2):26–30. (In Russ.)]
 10. Шевченко Ю.Л., Свешников А.В., Марчак Д.И., и др. Электрокардиография из венозного синуса при внутрисердечных вмешательствах // *Вестник Национального медико-хирургического Центра им. Н.И. Пирогова.* — 2019. — Т.14. — №1. — С. 4–11. [Shevchenko YuL, Sveshnikov AV, Marchak DI, et al. Elektrokardiografiya iz venechnogo sinusa pri vnutriserdechnykh vmeshatel'stvakh. *Vestnik Natsional'nogo mediko-khirurgicheskogo Tsentra im. N.I. Pirogova.* 2019;14(1):4–11. (In Russ.)]
 11. Abo-Aly M, Lolay G, Adams C, et al. Comparison of intracoronary versus intravenous adenosine-induced maximal hyperemia for fractional flow reserve measurement: a systematic review and meta-analysis. *Catheter Cardiovasc Interv.* 2019;94(5):714–721. Doi: 10.1002/ccd.28317.
 12. Agostini D, Roule V, Nganoa C, et al. First validation of myocardial flow reserve assessed by dynamic 99mTc-sestamibi CZT-SPECT camera: head to head comparison with 15O-water PET and fractional flow reserve in patients with suspected coronary artery disease. The WATERDAY study. *Eur J Nucl Med Mol Imaging.* 2018;45(7):1079–1090. Doi: 10.1007/s00259-018-3958-7.
 13. Berry C, McClure JD, Olroyd KG. Meta-Analysis of death and myocardial infarction in the DEFINE-FLAIR and iFR-SWEDEHEART trials. *Circulation.* 2017;136(24):2389–2391. Doi: 10.1161/CIRCULATIONAHA.117.030430.
 14. Berry C, van't Veer M, Witt N. VERIFY (Verification of Instantaneous wave-free ratio and fractional flow reserve for the assessment of coronary artery stenosis severity in everyday practice). A Multicenter study in consecutive patients. *J Am Coll Cardiol.* 2013;61(13):1421–1427. Doi: 10.1016/j.jacc.2012.09.065.
 15. Bruyne De B, Pijls NH, Barbato E, et al. Intracoronary and intravenous adenosine 5'-triphosphate, adenosine, papaverine, and contrast medium to assess fractional flow reserve in humans. *Circulation.* 2003;107(14):1877–1883. Doi: 10.1161/01.CIR.0000061950.24940.88.
 16. Danad I, Rajmakers PG, Driessen RS, et al. Comparison of coronary CT angiography, SPECT, PET, and hybrid imaging for diagnosis of ischemic heart disease determined by fractional flow reserve. *JAMA Cardiology.* 2019;2(10):1100–1107. Doi: 10.1001/jamacardio.2017.2471.
 17. 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.
 18. Jerabek S, Kovarnik T. Technical aspects and limitations of fractional flow reserve measurement. *Acta Cardiologica.* 2019;74(1):9–16. Doi: 10.1080/00015385.2018.1444951.
 19. Jeremias, A., Kirtane AJ, Stone GW. A test in context: fractional flow reserve: accuracy, prognostic implications, and limitations. *J Am Coll Cardiol.* 2017;69(22):2748–2758. Doi: 10.1016/j.jacc.2017.04.019.
 20. 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. Doi: 10.1161/CIRCINTERVENTIONS.
 21. 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.
 22. Pijls NH, Fearon WF, Tonino PA, et al. Fractional flow reserve versus angiography for guiding percutaneous coronary intervention in patients with multivessel coronary artery disease: 2-Year follow-up of the FAME (Fractional Flow Reserve Versus Angiography for Multivessel Evaluation) Study. *J Am Coll Cardiol.* 2010;56(3):177–184. Doi: 10.1016/j.jacc.2010.04.012.
 23. Pijls NH, van Schaardenburgh P, Manoharan G, et al. Percutaneous coronary intervention of functionally nonsignificant stenosis. 5-Year Follow-Up of the DEFER Study. *J Am Coll Cardiol.* 2007;49(21):2105–2111. Doi: 10.1016/j.jacc.2007.01.087.
 24. Sen S, Assres KN, Nijjer S, 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):1409–1420. Doi: 10.1016/j.jacc.2013.01.034.
 25. Sen S, Escaned J, Malik IS, et al. Development and validation of a new adenosine independent index of stenosis severity from coronary wave-intensity analysis results of the ADVISE (Adenosine Vasodilator Independent Stenosis Evaluation) Study. *J Am Coll Cardiol.* 2012;59(15):1392–1402. Doi: 10.1016/j.jacc.2011.11.003.
 26. Shevchenko YuL, Marchak DI, Gerashchenko AV, Ermakov DYU. Pre-operative preparation and electrophysiological monitoring of the myocardium state with heart endovascular interventions. In: *Scientific research of the SCO countries: synergy and integration.* Part 1: Participants' reports in English. Beijing; 2019. P. 159–167.
 27. Soares A, Brown DL. The fallacies of fractional flow reserve. *Int J Cardiol.* 2019;302:34–35. Doi: 10.1016/j.ijcard.2019.12.040.
 28. Windecker S, Kolh P, Alfonso F, et al. 2014 ESC/EACTS Guidelines on myocardial revascularization: The Task Force on Myocardial Revascularization of the European Society of Cardiology (ESC) and the European Association for Cardiothoracic Surgery (EACTS) Developed with the special contribution of the European Association of Percutaneous Cardiovascular Interventions (EAPCI). *Eur Heart J.* 2014;35(37):2541–2619. Doi: 10.1093/eurheartj/ehu278.