

# Методы сердечно-сосудистой визуализации в диагностике ишемической болезни сердца

В.С.Никифоров✉

ФГБОУ ВО «Северо-Западный государственный медицинский университет им. И.И.Мечникова» Минздрава России. 191015, Россия, Санкт-Петербург, ул. Кирочная, д. 41

✉victor.nikiforov@szgmu.ru

Данная статья посвящена современным методам сердечно-сосудистой визуализации для диагностики ишемической болезни сердца (ИБС). Методы ядерной кардиологии, стресс-эхокардиография, мультиспиральная компьютерная томография и магнитно-резонансная томография обладают высокими показателями чувствительности и специфичности в верификации коронарной патологии. Они рекомендуются пациентам с промежуточной предтестовой вероятностью ИБС на основании оценки клинической симптоматики и факторов риска. Дополнительно у больных с ИБС современные методы визуализации полезны для оценки жизнеспособности миокарда.

**Ключевые слова:** ишемическая болезнь сердца, сердечно-сосудистая визуализация, стресс-эхокардиография, магнитно-резонансная томография, ядерная визуализация перфузии миокарда, мультиспиральная компьютерная томография сердца, жизнеспособный миокард.

**Для цитирования:** Никифоров В.С. Методы сердечно-сосудистой визуализации в диагностике ишемической болезни сердца. Consilium Medicum. 2017; 19 (1): 18–24.

## Review. Thechnical Note

### Methods of cardiovascular imaging for the detection of ischemic heart disease

V.S.Nikiforov✉

I.I.Mechnikov State Northwestern Medical University of the Ministry of Health of the Russian Federation. 191015, Russian Federation, Saint Petersburg, ul. Kirochnaia, d. 41

✉victor.nikiforov@szgmu.ru

#### Abstract

This article is devoted to the role of the modern methods of cardiovascular imaging in the diagnosis of ischemic heart disease (IHD). Stress echocardiography, multislice computed tomography, magnetic resonance imaging and methods of nuclear cardiology have a high sensitivity and specificity in the verification of IHD. They are recommended for patients with intermediate pretest probability of IHD based on the evaluation of clinical symptoms and risk factors. Additionally, in patients with ischemic heart disease modern imaging techniques are useful for evaluation of myocardial viability.

**Key words:** ischemic heart disease, cardiovascular imaging, stress echocardiography, cardiac magnetic resonance imaging, nuclear myocardial perfusion imaging, cardiac computed tomography, viable myocardium.

**For citation:** Nikiforov V.S. Methods of cardiovascular imaging for the detection of ischemic heart disease. Consilium Medicum. 2017; 19 (1): 18–24.

#### Введение

Одной из важных проблем современной медицины является ишемическая болезнь сердца (ИБС) вследствие высокой заболеваемости и смертности [1, 2]. Этим обусловлено особое внимание кардиологов к применению диагностических методов при данной патологии [3]. Прогресс медицинской диагностики способствовал развитию методов сердечно-сосудистой визуализации (ССВ), основанных на разных физических принципах (рентгеновское излучение, ультразвук, ядерно-магнитный резонанс и т.д.) [4]. В современных международных рекомендациях сформулирована важность знания практическими кардиологами возможностей и ограничений каждого диагностического метода, показаний к их применению [5]. Данная статья посвящена методам ССВ, используемым для диагностики ИБС.

#### Общая характеристика методов ССВ для диагностики ИБС

Методы визуализации для диагностики ИБС условно можно разделить на те, которые позволяют оценивать коронарные артерии (КА) и миокард (табл. 1).

В первом случае методы визуализации дают возможность выявить признаки атеросклеротического поражения КА [6]. В другом – анализируется функция миокарда на фоне пробы с физической или фармакологической нагрузкой, т.е. провокации ишемии миокарда [7].

«Золотым стандартом» диагностики коронарной патологии является коронароангиография (КАГ) [8]. Основными недостатками являются ее инвазивность и более высокая стоимость по сравнению с другими методами диагностики ИБС [8, 9]. Появившийся в последние годы и нашедший применение в интервенционной кардиологии метод внутрисосудистого коронарного ультразвука не стал альтернативой традиционной КАГ в диагностике ИБС по тем же причинам – относительно высокая стоимость и инвазивность [2].

Другой реальной возможностью оценки КА является применение мультиспиральной компьютерной томографии (МСКТ) [10, 11]. Даже без контрастирования КА с помощью МСКТ можно оценивать выраженность внутрисосудистого отложения кальция, так называемый скрининг

Цели	Методы ССВ
Оценка КА	КАГ Внутрисосудистое ультразвуковое исследование МСКТ с контрастом КА МСКТ-оценка коронарного кальция
Оценка миокарда	Стресс-ЭхоКГ Стресс-МРТ Стресс-ОФЭКТ Стресс-ПЭТ

Градации локальной кинетики миокарда	Выраженность движения эндокарда в систолу	Степень утолщения миокарда в систолу
Нормокинезия	Нормальное, внутрь (4–5 мм)	Более 30%
Гипокинезия	Умеренно снижено, внутрь	Менее 30%
Акинезия	Практически отсутствует	Менее 10%
Дискинезия	Парадоксальное движение эндокарда наружу	Истончение стенки ЛЖ в систолу

коронарного кальция [12]. Коронарный кальциноз количественно характеризуют с помощью кальциевого индекса Агатстона [2]. Поскольку причиной отложения кальция в коронарных сосудах, за исключением пациентов с почечной недостаточностью, является атеросклероз, данный параметр может быть полезен в оценке коронарного риска [12]. Однако данный показатель не дает возможности адекватно определить степень стенозирования КА [2]. Даже при тяжелом кальцинозе не обязательно будет гемодинамически значимый стеноз артерии, а индекс коронарного кальция, равный нулю, не исключает стенозов КА у лиц с клинической симптоматикой [13].

Для более точной оценки структуры КА с помощью МСКТ необходимо внутривенное контрастирование [14, 11]. Хорошее пространственное разрешение позволяет получать качественное изображение коронарного русла [15] с высокой точностью выявления стенотического поражения (чувствительность 95–99%, специфичность 64–83%) [2]. Несомненными преимуществами МСКТ-визуализации КА по сравнению с КАГ являются меньшая стоимость и отсутствие необходимости катетерного вмешательства [8, 9].

Ограничениями МСКТ в диагностике ИБС являются необходимость в соответствующей современной аппаратуре (64-спиральный компьютерный томограф), возможность корректной оценки пациентов без тахикардии, тяжелого ожирения, способных задерживать дыхание [15]. Кроме того, тяжелый кальциноз КА может отрицательно влиять на точность МСКТ [16].

Другая группа методов ССВ, применяемых для диагностики ИБС, оценивает изменения миокарда при нагрузке. В их основе лежит концепция «ишемического каскада» [17]. Согласно этой теории у пациента со стенотическим поражением коронарного русла повышение потребности миокарда в кислороде в ходе увеличения нагрузки сначала ведет к появлению нарушений метаболизма, его перфузии, далее возникают нарушения кинетики миокарда в виде ухудшения диастолической и систолической функций [18, 19]. Только в самом конце этого ишемического каскада появляются электрокардиографические признаки ишемии и ангинозные боли [17], соответственно, совмещение нагрузочной пробы с визуализацией миокарда делает пробу более чувствительной к выявлению ишемии, по сравнению со стандартной регистрацией электрокардиограммы (ЭКГ) [2].

### Стресс-эхокардиография (стресс-ЭхоКГ)

Среди методов визуализации, которые используются в диагностике кардиальной патологии, и в частности ИБС, лидирующие позиции занимает стресс-ЭхоКГ как наиболее доступный и безопасный метод [9, 20]. С помощью стресс-ЭхоКГ можно оценивать как структурные, так и функциональные параметры сердца [21].

ЭхоКГ-исследование в покое, согласно европейским рекомендациям, должно выполняться у всех пациентов с подозрением на ИБС, поскольку может дать информацию о других причинах боли в грудной клетке, диастолической и глобальной систолической функциях левого желудочка (ЛЖ), а также нарушениях локальной сократимости миокарда (гипокинезия, акинезия, дискинезия), связанных с ишемией [2]. Локализация зон нарушений кинетики мио-

карда при ИБС, как правило, соответствует бассейнам пораженных КА [22].

Нарушения региональной сократимости могут быть стабильными (например, акинезия в зоне рубцовых изменений после перенесенного инфаркта миокарда) либо переходящими – при кратковременной ишемии [7, 23]. В то же время у больных с ИБС в условиях покоя сократимость миокарда может быть сохранена, даже при наличии измененной конечной части желудочкового комплекса на ЭКГ.

Поэтому применение ЭхоКГ для диагностики ИБС подразумевает совмещение ее с нагрузочной пробой – стресс-ЭхоКГ [20]. В качестве стресс-агентов могут использоваться физические нагрузки на велоэргометре, тредмиле, введение фармакологических препаратов (добутамина, дипиридамола), чреспищеводная электрокардиостимуляция предсердий [24]. Противопоказания к стресс-ЭхоКГ являются стандартными для нагрузочных тестов, используемых для провокации ишемии миокарда [25].

В ходе исследования записывают видеоизображения одного или нескольких сердечных циклов ЛЖ в стандартных ультразвуковых позициях в фиксированных точках протокола (покой – каждая ступень нагрузки – отдых) [26]. Полученные «клипы» одинаковых позиций на разных этапах исследования сопоставляют между собой и выполняют посегментный анализ сократимости [24]. Ухудшение сократимости на фоне стресс-теста при исходной нормокинезии может свидетельствовать о наличии ишемии миокарда [7].

Выраженность диссинергии оценивается в баллах в зависимости от ее выраженности (нормокинезия – 1, гипокинезия – 2, акинезия – 3, дискинезия – 4) [22]. На основе полуколичественной оценки кинетики миокарда в баллах может быть рассчитан интегральный индекс нарушения локальной сократимости (отношение суммы баллов к количеству оценивавшихся сегментов миокарда), который в норме составляет 1,0. Его увеличение на фоне нагрузочной пробы свидетельствует о развитии диссинергии миокарда, которая может быть вызвана ишемическими изменениями [21].

Данное диагностическое исследование может выполняться в учреждениях, соответствующих определенным требованиям: наличие специально обученного персонала с достаточным опытом проведения ЭхоКГ и нагрузочных проб, ультразвуковой аппаратуры, имеющей программу для стресс-ЭхоКГ, аппаратуры для дозированного применения нагрузки (велоэргометр, тредмил) [21].

Чувствительность стресс-ЭхоКГ с физической нагрузкой в диагностике ИБС, по данным ряда исследований, составляет 80–85%, а специфичность – 80–88% [2].

В то же время нельзя не отметить и ряд недостатков стресс-ЭхоКГ. К ним относится зависимость точности оценки кинетики стенок ЛЖ и степени их утолщения в систолу от качества визуализации эндокарда. В связи с этим возможны трудности при интерпретации пробы у лиц, страдающих эмфиземой легких, ожирением, а также имеющих структурные изменения грудной клетки [21].

Для решения данной проблемы используются специальные контрастные вещества [2, 27]. Согласно современным рекомендациям контрастная стресс-ЭхоКГ должна выполняться в тех случаях, когда два или более соседних сегмента ЛЖ плохо визуализируются в покое [28].

Имеются также данные о том, что применение контраста во время стресс-ЭхоКГ повышает точность диагностики ИБС [29].

К недостаткам стресс-ЭхоКГ также относится полуквалиметрический подход к оценке локальной сократимости миокарда (табл. 2), поэтому на результаты оказывает влияние субъективный фактор опыта и внимания врача, выполняющего исследование [26].

Частично проблема субъективности ЭхоКГ-анализа региональной кинетики миокарда может быть решена с помощью тканевой доплерографии, позволяющей рассчитать для отдельных сегментов ЛЖ значения скорости движения, скорости деформации (strain rate) и деформации (strain) миокарда [30, 31]. Имеются данные в пользу высокой информативности стресс-ЭхоКГ, дополненной тканевой доплерографией [32, 33, 34].

В то же время тканевая доплерография миокарда имеет свои ограничения: ее результаты зависят от угла сканирования, погрешность в измерения вносят смещение соседних участков миокарда и движения всего сердца [22, 35]. В последние годы изучаются возможности применения для количественной оценки кинетики миокарда при стресс-ЭхоКГ анализа деформации миокарда на основе методики спекл-трекинг (speckle-tracking) [36, 37]. Данная методика не является доплерографической и поэтому лишена указанных для тканевой доплерографии недостатков [38]. Однако унифицированные нормативы оценки локальной сократимости миокарда с помощью спекл-трекинга на сегодняшний день отсутствуют [22].

### Магнитно-резонансная томография (МРТ) сердца с нагрузкой

Для диагностики ИБС, в частности выявления нарушений кинетики миокарда, обусловленных ишемией, может использоваться МРТ сердца с фармакологической нагрузкой [19]. Нагрузочная МРТ (или стресс-МРТ) с добутамином основана на тех же принципах оценки сократительного резерва, что и стресс-ЭхоКГ, и проводится по аналогичному протоколу [39].

В то же время нагрузочная МРТ имеет свои преимущества – высокое пространственное разрешение и хорошую воспроизводимость [20]. Стресс-МРТ может рассматриваться в качестве альтернативного диагностического метода у лиц с некачественной визуализацией сердца при ЭхоКГ [19].

Противопоказаниями к выполнению МРТ сердца являются наличие у пациента клаустрофобии или присутствие в его организме инородных металлических объектов [39].

### Методы радиоизотопной диагностики

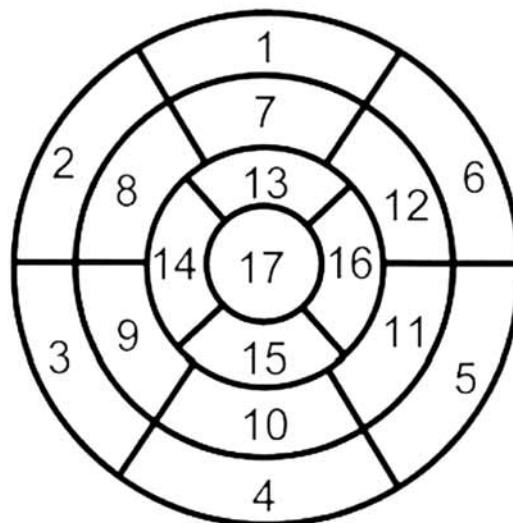
Важную роль в обследовании пациентов с коронарной патологией играют радиоизотопные методы – перфузионная сцинтиграфия миокарда, однофотонная эмиссионная компьютерная томография (ОФЭКТ) и позитронно-эмиссионная томография (ПЭТ) [40].

В ходе таких исследований внутривенно вводится радиофармпрепарат (РФП), который с током крови поступает по коронарным сосудам в миокард [41]. Регионы миокарда без нарушения кровоснабжения идентифицируются по равномерному распределению РФП, в то время как зоны ишемизированного миокарда и участки рубцовой ткани характеризуются снижением включения РФП в виде дефектов перфузии [25].

Для оценки перфузии миокарда с помощью ОФЭКТ используются РФП на основе  $^{99m}\text{Tc}$  и хлорид таллия  $^{201}\text{Tl}$  [42].

Совмещение исследования с нагрузочной пробой позволяет у больных с ИБС выявить зоны гипоперфузии, обусловленные снижением захвата изотопа во время нагрузки, по сравнению с его захватом в покое на фоне нарушения коронарного кровообращения [2].

Схема деления ЛЖ на 17 сегментов в виде мишени.



- |                                    |                                  |                                |
|------------------------------------|----------------------------------|--------------------------------|
| 1. Базальный передний              | 6. Базальный переднебоковой      | 12. Средний переднебоковой     |
| 2. Базальный переднеперегородочный | 7. Средний передний              | 13. Верхушечный передний       |
| 3. Базальный нижнеперегородочный   | 8. Средний переднеперегородочный | 14. Верхушечный перегородочный |
| 4. Базальный нижний                | 9. Средний нижнеперегородочный   | 15. Верхушечный нижний         |
| 5. Базальный нижнебоковой          | 10. Средний нижний               | 16. Верхушечный боковой        |
|                                    | 11. Средний нижнебоковой         | 17. Верхушечный                |

Для анализа зон кровоснабжения миокарда КА разработана унифицированная схема деления ЛЖ на сегменты в виде мишени [25], позволяющая сопоставлять локализацию выявленных нарушений перфузии с результатами других методов визуализации (нарушения сократимости миокарда при стресс-ЭхоКГ) [22]. На данной схеме верхушка ЛЖ расположена в центре, а его основание (базальные сегменты) – по периферии (см. рисунок).

РФП, используемые для ПЭТ-визуализации ( $^{18}\text{F}$ -FDG), дают возможность оценивать метаболизм миокарда [43]. Дополнительно ПЭТ позволяет количественно характеризовать кровоток в мл/мин/г миокарда, что способствует выявлению микрососудистых нарушений [44].

Техническим преимуществом ПЭТ перед ОФЭКТ является более высокая разрешающая способность и коррекция ослабления фотонного излучения мягкими тканями [2].

Однако ПЭТ как более дорогой метод визуализации, чем ОФЭКТ, значительно реже используется для диагностики ИБС. Применение ультракороткоживущих изотопов также является ограничением распространения ПЭТ в клинической практике [39].

Совершенствование технологий лучевой диагностики способствовало появлению гибридных технологий визуализации [45, 46]. Внедрение гибридных сканеров, которые сочетают ОФЭКТ или ПЭТ с компьютерной томографией – КТ (ОФЭКТ/КТ, ПЭТ/КТ) или МРТ (ПЭТ/МРТ) может дать дополнительные возможности для комплексной оценки структурных и функциональных изменений сердца у пациентов с коронарной патологией [2].

### Клинический выбор методов ССВ для первичной диагностики ИБС

Результаты многочисленных исследований свидетельствуют о высокой точности методов ССВ (табл. 3), поэтому потенциально каждый из них может быть использован в диагностике ИБС [2].

Методика	Чувствительность, %	Специфичность, %
Стресс-ЭКГ с физической нагрузкой	45–50	85–90
Стресс-ЭхоКГ с физической нагрузкой	80–85	80–88
Стресс-ЭхоКГ с добутамином	79–83	82–86
Стресс-МРТ с добутамином	79–88	81–91
Стресс-ОФЭКТ с физической нагрузкой	73–92	63–87
Стресс-ОФЭКТ с вазодилататором	90–91	75–84
Стресс-ПЭТ с вазодилататором	81–97	74–91
МСКТ КА	95–99	64–83

Возраст	Типичная стенокардия		Атипичная стенокардия		Неангинозная боль	
	Мужчины	Женщины	Мужчины	Женщины	Мужчины	Женщины
30–39	59	28	29	10	18	5
40–49	69	37	38	14	25	8
50–59	77	47	49	20	34	12
60–69	84	58	59	28	44	17
70–79	89	68	69	37	54	24
Более 80	93	76	78	47	65	32

Методы визуализации	Бессимптомный пациент (скрининг)	Симптомный пациент		
		Низкая ПТВ<15%	Промежуточная ПТВ 15–85%	Высокая ПТВ>85%
КАГ	IIIA	IIIA	IIbA	IA
Контрастная МСКТ КА	IIIB	IIIC	IIaB	IIIB
СтрессЭхоКГ	IIIA	IIIA	IA	IIIA
Стресс-МРТ	IIIB	IIIC	IA	IIIB
Стресс-ОФЭКТ	IIIA	IIIA	IA	IIIA
Стресс-ПЭТ	IIIB	IIIC	IA	IIIB
Комбинированная или гибридная визуализация	IIIC	IIIC	IIaB	IIIB

В то же время такие характеристики, как чувствительность и специфичность, не всегда позволяют точно определить, как данный метод диагностики будет работать в конкретной клинической ситуации. В этой связи получил распространение подход к выбору диагностики ИБС на основе так называемой предтестовой вероятности (ПТВ) [2, 47]. Основными детерминантами ПТВ являются возраст, пол и характеристика симптомов (табл. 4), позволяющие охарактеризовать сердечно-сосудистый риск и клинические особенности у данного пациента [48].

Результаты исследований свидетельствуют о том, что чувствительность и специфичность методов ССВ, которые применяются в настоящее время, составляют около 85% (табл. 3). Поэтому их результаты в 15% случаев могут быть ложными. Отсюда следует, что уменьшить количество неправильных заключений можно в том случае, если не выполнять методы визуализации у лиц с низкой ПТВ<15% или у лиц с высокой ПТВ>85% [2]. Поэтому в европейских рекомендациях указано, что применение методов ССВ для диагностики ИБС у этих категорий пациентов нецелесообразно [2, 47]. В случае ПТВ<15% можно сделать вывод, что ИБС отсутствует, а при ПТВ>85% наоборот – что имеется гемодинамически значимое стеногическое поражение коронарного русла.

Лицам с высокой ПТВ показано выполнение КАГ (табл. 5). Лицам с ПТВ 15–65% для диагностики ИБС в качестве мето-

да 1-го ряда рационально использовать ЭКГ-нагрузочную пробу [2].

Стресс-методики визуализации рекомендуются в качестве начального метода диагностики ИБС при промежуточной ПТВ [47] (табл. 5), преимущественно с ПТВ 65–85% [2]. Исключение составляют лица без типичной стенокардии со сниженной сократимостью ЛЖ (фракция выброса менее 50%), которым также показано выполнение данных диагностических тестов [2].

Дополнительным показанием к назначению методов ССВ для диагностики ИБС могут быть изменения на ЭКГ, которые затрудняют интерпретацию во время нагрузки (исходные изменения реполяризации при гипертрофии ЛЖ, полная блокада левой ножки предсердно-желудочкового пучка, электролитные расстройства, действие лекарственных средств и др.) [26].

При выборе нагрузки для стресс-теста с визуализацией следует отдавать предпочтение физической, а не фармакологической нагрузке [2].

#### Диагностические возможности методов ССВ у больных с верифицированной ИБС

Методы ССВ находят применение и у лиц с верифицированной ИБС. Согласно европейским рекомендациям метод визуализации, совмещенный с нагрузочной пробой,



Принцип диагностики	Метод диагностики
Доказательство наличия метаболической активности миокарда	ПЭТ с $^{18}\text{F}$ -FDG
Оценка перфузии миокарда и целостности клеточной мембраны кардиомиоцитов	ОФЭКТ с $^{201}\text{Tl}$ и препаратами $^{99\text{m}}\text{Tc}$
Выявление сократительного резерва миокарда	Стресс-ЭхоКГ с добутамином, стресс-МРТ с добутамином
Доказательство наличия жизнеспособного миокарда методом исключения нежизнеспособной (рубцовой) ткани	Контрастная МРТ сердца

может использоваться для функциональной оценки стенозов КА, выраженность которых по данным КАГ определена как промежуточная [2]. Кроме того, стресс-методики визуализации целесообразно выполнять лицам, перенесшим операцию реваскуляризации миокарда, с наличием клинической симптоматики ИБС [2].

Еще одним важным направлением применения диагностических методов у больных с ИБС является идентификация особых обратимых форм ишемической дисфункции миокарда – гистерии и стэнирования [49], которые обозначают термином «жизнеспособный миокард» [50]. Принципы, лежащие в основе неинвазивной диагностики жизнеспособного миокарда с помощью разных методов ССВ, представлены в табл. 6.

Дифференцирование участков обратимой ишемической дисфункции миокарда от рубцовой ткани имеет важное практическое значение для планирования лечебных мероприятий [51].

Согласно европейским рекомендациям реваскуляризация миокарда у больных с ИБС, у которых фракция выброса ЛЖ < 35%, показана только при подтверждении в области дисфункцирующего миокарда жизнеспособной ткани с Па-классом рекомендацией и уровнем доказательности В [47].

Методы ССВ для верификации жизнеспособного миокарда (отсутствия зоны рубцовых изменений) могут использоваться при обследовании больных с дисфункцией миокарда ишемического генеза, которым планируется сердечная ресинхронизирующая терапия (СРТ) – метод электрофизиологической коррекции сердечной недостаточности [52, 53]. Продолжается поиск неинвазивных диагностических методов для повышения эффективности СРТ [54]. Доказано, что для оптимального эффекта СРТ электрод для электрокардиостимуляции ЛЖ должен располагаться в месте наиболее поздней механической активации и вне рубцовой зоны [55]. В качестве методик для определения оптимального положения ЛЖ-электрода на основании исключения рубцовых зон рассматриваются ЭхоКГ-оценка деформации миокарда с помощью спекл-трекинг-ЭхоКГ [55, 56], а также анализ перфузии миокарда при ОФЭКТ [57, 58].

## Заключение

Современные методы ССВ предоставляют дополнительные возможности для первичной диагностики ИБС. Рациональное применение этих методов требует от кардиологов основывать свой выбор на доступности и информативности, а также предостовой вероятности ИБС у конкретного пациента. Неинвазивные методы визуализации (стресс-ЭхоКГ, нагрузочная МРТ, нагрузочная ОФЭКТ, нагрузочная ПЭТ, контрастная МСКТ КА) для диагностики ИБС должны применяться преимущественно в случае ее промежуточной ПТВ. Целесообразно использовать возможности ССВ у больных с верифицированной ИБС для оптимизации таких методов лечения, как операции реваскуляризации и сердечная ресинхронизирующая терапия.

## Литература/References

1. Болезни сердца по Браунвальду. Руководство по сердечно-сосудистой медицине. Под ред. П.Либби. В 4 т. Т. 1. М.: Рид Элсивер, 2010. / *Bolezni serdtsa po Braunval'du*.

- Rukovodstvo po serdechno-sosudistoi meditsine. Pod red. P.Libbi. V 4 t. T. 1. M.: Rid Elsi-ver, 2010. [in Russian]
- Montalescot G, Sechtem U, Achenbach S et al. 2013 ESC guidelines on the management of stable coronary artery disease: The Task Force on the management of stable coronary artery disease of the European Society of Cardiology. *Eur Heart J* 2013; 34 (38): 2949–3003.
  - Achenbach S, Dilsizian V, Kramer CM, Zoghbi WA. The year in coronary artery disease. *JACC Cardiovasc Imaging* 2009; 2 (6): 774–86.
  - Lancellotti P, Plońska-Gościński E, Garbi M et al. Cardiovascular imaging practice in Europe: a report from the European Association of Cardiovascular Imaging. *Eur Heart J Cardiovasc Imaging* 2015; 16 (7): 697–702.
  - Fraser AG, Buser PT, Bax JJ et al. The future of cardiovascular imaging and non-invasive diagnosis: a joint statement from the European Association of Echocardiography, the Working Groups on Cardiovascular Magnetic Resonance, Computers in Cardiology, and Nuclear Cardiology, of the European Society of Cardiology, the European Association of Nuclear Medicine, and the Association for European Paediatric Cardiology. *Eur Heart J* 2006; 27 (14): 1750–3.
  - Nicholls SJ, Andrews J, Puri R et al. Imaging progression of coronary atherosclerosis. *Circ J* 2013; 77 (1): 3–10.
  - Никифоров В.С., Никитин А.Э., Тынренко В.В., Свистов А.С. Ишемическая дисфункция миокарда. М.: АПКИПРО. 2005. / Nikiforov V.S., Nikitin A.E., Tyrenko V.V., Svistov A.S. *Ishemicheskaja disfunktsiia miokarda*. M.: APKIPRO. 2005. [in Russian]
  - Garcia MJ. Cardiac CT for CAD. Do we still need angiography? *J Cardiovasc Surg (Torino)* 2009; 50 (1): 7–17.
  - Mark DB, Shaw LJ, Lauer MS et al. 34th Bethesda Conference: Task force #5 – Is atherosclerosis imaging cost effective? *J Am Coll Cardiol* 2003; 41 (11): 1906–17.
  - Архипова И.М., Мершина Е.А., Синицын В.Е. Роль КТ-коронарографии в диагностике ИБС на амбулаторном этапе. Поликлиника. 2013; 3–1: 18–21. / Arkhipova I.M., Mershina E.A., Sinitsyn V.E. *Rol' KT-koronarografii v diagnostike IBS na ambulatornom etape*. Poliklinika. 2013; 3–1: 18–21. [in Russian]
  - Sun Z, Moudi M, Cao Y. CT angiography in the diagnosis of cardiovascular disease: a transformation in cardiovascular CT practice. *Quant Imaging Med Surg* 2014; 4 (5): 376–96.
  - Greenland P, Bonow RO, Brundage BH et al. ACCF/AHA 2007 clinical expert consensus document on coronary artery calcium scoring by computed tomography in global cardiovascular risk assessment and in evaluation of patients with chest pain: a report of the American College of Cardiology Foundation Clinical Expert Consensus Task Force (ACCF/AHA Writing Committee to Update the 2000 Expert Consensus Document on Electron Beam Computed Tomography). *Circulation* 2007; 115 (3): 402–26.
  - Marwan M, Ropers D, Pflederer T et al. Clinical characteristics of patients with obstructive coronary lesions in the absence of coronary calcification: an evaluation by coronary CT angiography. *Heart* 2009; 95: 1056–60.
  - Терновой С.К., Никонова М.Э., Акчурин Р.С. и др. Возможности мультиспиральной компьютерной томографии (МСКТ) в оценке коронарного русла и вентрикулографии в сравнении с интервенционной коронароангиографией. Рос. электронный журн. лучевой диагностики. 2013; 3 (1): 28–36. / Ternovoi S.K., Nikonova M.E., Akchurin R.S. i dr. *Vozmozhnosti mult'ispiral'noi komp'yuternoi tomografii (MSKT) v otsenke koronarnogo rusla i ventrikulografii v sravnenii s intervencionnoy koronarovenrikulografiei*. Ros. elektronnyi zhurn. luchevoi diagnostiki. 2013; 3 (1): 28–36. [in Russian]
  - Abbara S, Arbab-Zadeh A, Callister TQ et al. SCCT guidelines for performance of coronary computed tomographic angiography: a report of the Society of Cardiovascular Computed Tomography Guidelines Committee. *J Cardiovasc Comput Tomogr* 2009; 3: 190–204.
  - Vavere AL, Arbab-Zadeh A, Rochitte CE et al. Coronary artery stenoses: accuracy of 64-detector row CT angiography in segments with mild, moderate, or severe calcification: a subanalysis of the CORE-64 trial. *Radiology* 2011; 261: 100–8.
  - Nesto RW, Kowalchuk GJ. The ischemic cascade: temporal sequence of hemodynamic, electrocardiographic and symptomatic expressions of ischemia. *Am J Cardiol* 1987; 59 (7): 23C–30C.
  - Hyodo E, Muro T, Hozumi T et al. Observation of the ischemic cascade in humans using contrast echocardiography during dobutamine stress. *Circ J* 2003; 67 (5): 406–10.
  - Charoanpanichkit C, Hundley WG. The 20 year evolution of dobutamine stress cardiovascular magnetic resonance. *J Cardiovasc Magn Reson* 2010; 12: 59.
  - Mieres JH, Makaryus AN, Redberg RF, Shaw LJ. Noninvasive cardiac imaging. *Am Fam Physician* 2007; 75 (8): 1219–28.
  - Захарова А.И., Никифоров В.С., Свистов А.С. Диагностические возможности эхокардиографии у больных ишемической болезнью сердца. Регионарн. кровообращение и микроциркуляция. 2007; 6 (4): 78–85. / Zakharova A.I., Nikiforov V.S., Svistov A.S.

- Diagnostichekoe vozmozhnosti ekhokardiografii u bol'nykh ishemicheskoi bolezni'u serdtsa. Regionarn. krovoobrashchenie i mikrotsirkulatsiia. 2007; 6 (4): 78–85. [in Russian]
22. Lang RM, Badano LP, Mor-Avi V et al. Recommendations for cardiac chamber quantification by echocardiography in adults: an update from the American Society of Echocardiography and the European Association of Cardiovascular Imaging. *Eur Heart J Cardiovasc Imaging* 2015; 16 (3): 233–70.
  23. Шевченко Ю.Л., Бобров Л.Л., Обрезан А.Г., Никифоров В.С. Некоторые гемодинамические эффекты коррекции ишемии миокарда методом хирургической реваскуляризации. *Кардиология*. 2001; 41 (7): 20–3. / Shevchenko Yu.L., Bobrov L.L., Obrezan A.G., Nikiforov V.S. Nekotorye gemodinamicheskie efekty korrektsii ishemii miokarda metodom khirurgicheskoi revaskularizatsii. *Kardiologiya*. 2001; 41 (7): 20–3. [in Russian]
  24. Pellikka PA, Nagueh SF, Elhendy AA et al. American Society of Echocardiography recommendations for performance, interpretation, and application of stress echocardiography. *J Am Soc Echocardiogr* 2007; 20 (9): 1021–41.
  25. Сергиенко В.Б., Аншелес А.А., Шульгин Д.Н. и др. Методические рекомендации. Перфузионная сцинтиграфия и ОЭКТ миокарда. *Кардиол. вестн.* 2015; 10 (2): 6–21. / Sergienko V.B., Anshel's A.A., Shul'gin D.N. i dr. Metodicheskie rekomendatsii. Perfuzionnaia stsintigrafia i OEkT miokarda. *Kardiol. vestn.* 2015; 10 (2): 6–21. [in Russian]
  26. Саидова М.А. Стресс-эхокардиография с добутином: возможности клинического применения в кардиологической практике. Рацион. фармакотерапия в кардиологии. 2009; 5 (4): 73–9. / Saidova M.A. Stress-ekhokardiografiia s dobutaminom: vozmozhnosti klinicheskogo primeneniia v kardiologicheskoi praktike. *Ratsion. farmakoterapiia v kardiologii*. 2009; 5 (4): 73–9. [in Russian]
  27. Бузиашвили Ю.И., Аязян Э.А., Мацкеплишвили С.Т. и др. Контрастная эхокардиография и ее возможности в диагностике ишемической болезни сердца. *Бюл. НЦССХ им. А.Н.Бакулева РАМН. Сердечно-сосудистые заболевания*. 2004; 5 (9): 71–6. / Buziashvili Yu.I., Aiazian E.A., Matskeplishvili S.T. i dr. Kontrastnaia ekhokardiografiia i ee vozmozhnosti v diagnostike ishemicheskoi bolezni serdtsa. *Biul. NTSSKh im. A.N.Bakuleva RAMN. Serdechno-sosudistye zabolevaniia*. 2004; 5 (9): 71–6 [in Russian]
  28. Senior R, Becher H, Monaghan M et al. Contrast echocardiography: evidence-based recommendations by European Association of Echocardiography. *Eur J Echocardiogr* 2009; 10: 194–212.
  29. Plana JC, Mikati IA, Dokainish H et al. A randomized cross-over study for evaluation of the effect of image optimization with contrast on the diagnostic accuracy of dobutamine echocardiography in coronary artery disease The OPTIMIZE Trial. *JACC Cardiovasc Imaging* 2008; 1: 145–52.
  30. Никифоров В.С., Тютин А.Р., Палагутин М.А. и др. Неинвазивная оценка гемодинамики с помощью тканевой доплерографии. *Регионарн. кровообращение и микроциркуляция*. 2011; 10 (2): 13–18. / Nikiforov V.S., Tiutin A.R., Palagutin M.A. i dr. Neinvazivnaia otsenka gemodinamiki s pomoshch'iu tkanevoi dopplerografii. *Regionarn. krovoobrashchenie i mikrotsirkulatsiia*. 2011; 10 (2): 13–18. [in Russian]
  31. Павлюкова Е.Н., Егорова В.Ю. Анализ деформации миокарда в режиме strain и strain rate при стресс-эхокардиографии с добутином в зависимости от степени стеноза коронарных артерий. *Сиб. мед. журн.* 2008; 23 (4–2): 7–10. / Pavliukova E.N., Egorova V.Iu. Analiz deformatsii miokarda v rezhime strain i strain rate pri stress-ekhokardiografii s dobutaminom v zavisimosti ot stepeni stenozha koronarnykh arterii. *Sib. med. zhurn.* 2008; 23 (4–2): 7–10. [in Russian]
  32. Васюк Ю.А., Копелева М.В., Хадзегова А.Б. Оценка локальной сократимости миокарда левого желудочка методом тканевой доплерографии у больных с различными формами ишемической болезни сердца. *SonoAce-Ultrasound*. 2008; 17: 13–24. / Vasiuk Yu.A., Kopeleva M.V., Khadzegova A.B. Otsenka lokal'noi sokratimosti miokarda levogo zheludochka metodom tkanevoi dopplerografii u bol'nykh s razlichnymi formami ishemicheskoi bolezni serdtsa. *SonoAce-Ultrasound*. 2008; 17: 13–24 [in Russian]
  33. Никифоров В.С., Никитин А.Э., Яловец А.А., Свистов А.С. Стресс-эхокардиография с тканевой доплерографией: дополнительные возможности оценки функции сердечной мышцы. *Кардиоваскулярн. терапия и профилактика*. 2004; 3 (4): Прил. 2: 354. / Nikiforov V.S., Nikitin A.E., Ialovets A.A., Svistov A.S. Stress-ekhokardiografiia s tkanevoi dopplerografiei: dopolnitel'nye vozmozhnosti otsenki funktsii serdechnoi myshtsy. *Kardiovaskuliarn. terapiia i profilaktika*. 2004; 3 (4): Прил. 2: 354 [in Russian]
  34. Agarwal R, Gosain P, Kirkpatrick JN et al. Tissue Doppler imaging for diagnosis of coronary artery disease: a systematic review and meta-analysis. *Cardiovasc Ultrasound* 2012; 10: 47.
  35. Kadappu KK, Thomas L. Tissue Doppler imaging in echocardiography: value and limitations. *Heart Lung Circ* 2015; 24 (3): 224–33.
  36. Медведев П.И., Алехин М.Н., Сидоренко Б.А. Диагностические возможности спектрекинг эхокардиографии у больных ишемической болезнью сердца. *Кардиология*. 2016; 56 (2): 79–84. / Medvedev P.I., Alekhin M.N., Sidorenko B.A. Diagnosticheskie vozmozhnosti spekl-treking ekhokardiografii u bol'nykh ishemicheskoi bolezni'u serdtsa. *Kardiologiya*. 2016; 56 (2): 79–84. [in Russian]
  37. Wierzbowska-Drabik K, Hamala P, Roszczyk N et al. Feasibility and correlation of standard 2D speckle tracking echocardiography and automated function imaging derived parameters of left ventricular function during dobutamine stress test. *Int J Cardiovasc Imaging* 2014; 30: 729–37.
  38. Никифоров В.С., Марсальская О.А., Новиков В.И. Эхокардиографическая оценка деформации миокарда в клинической практике. СПб.: КультИнформПресс, 2015. / Nikiforov V.S., Marsal'skaia O.A., Novikov V.I. Ekhokardiograficheskaya otsenka deformatsii miokarda v klinicheskoi praktike. SPb.: Kul'tInformPress, 2015 [in Russian]
  39. Никифоров В.С. Методы сердечно-сосудистой визуализации в диагностике жизнеспособного миокарда при ишемической болезни сердца. СПб.: КультИнформПресс, 2012. / Nikiforov V.S. Metody serdechno-sosudistoi vizualizatsii v diagnostike zhiznesposobnogo miokarda pri ishemicheskoi bolezni serdtsa. SPb.: Kul'tInformPress, 2012. [in Russian]
  40. Klocke FJ, Baird MG, Lorell BH et al. ACC/AHA/ASNC guidelines for the clinical use of cardiac radionuclide imaging—executive summary: a report of the American College of Cardiology/American Heart Association Task Force on Practice Guidelines (ACC/AHA/ASNC Committee to Revise the 1995 Guidelines for the Clinical Use of Cardiac Radionuclide Imaging). *Circulation* 2003; 108 (11): 1404–18.
  41. Chen IY, Wu JC. Cardiovascular molecular imaging: focus on clinical translation. *Circulation* 2011; 123 (4): 425–43.
  42. Лишманов Ю.Б., Чернов В.И., Минин С.М. Перфузионная сцинтиграфия миокарда. Рекомендации к выполнению исследования. Лучевая диагностика и терапия. 2010; 1: 97–102. / Lishmanov Yu.B., Chernov V.I., Minin S.M. Perfuzionnaia stsintigrafia miokarda. Rekomendatsii k vypolneniiu issledovaniia. *Luchevaia diagnostika i terapiia*. 2010; 1: 97–102. [in Russian]
  43. Lalonde L, Ziadi MC, Beanlands R. Cardiac positron emission tomography: current clinical practice. *Cardiol Clin* 2009; 27 (2): 237–55.
  44. Kajander S, Joutsiniemi E, Saraste M et al. Cardiac positron emission tomography/computed tomography imaging accurately detects anatomically and functionally significant coronary artery disease. *Circulation* 2010; 122: 603–13.
  45. Gaemperli O, Kaufmann PA, Alkadhi H et al. Cardiac hybrid imaging. *Eur J Nucl Med Mol Imaging* 2014; 41 (Suppl. 1): S91–103.
  46. Lee WW. Recent Advances in Nuclear Cardiology. *Nucl Med Mol Imaging* 2016; 50 (3): 196–206.
  47. 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 Cardio-Thoracic Surgery (EACTS). Developed with the special contribution of the European Association of Percutaneous Cardiovascular Interventions (EAPCI). *Eur Heart J* 2014; 35 (37): 2541–619.
  48. Genders TS, Steyerberg EW, Alkadhi H et al. A clinical prediction rule for the diagnosis of coronary artery disease: validation, updating, and extension. *Eur Heart J* 2011; 32: 1316–30.
  49. Gowda RM, Khan IA, Vasavada BC et al. Reversible myocardial dysfunction: basics and evaluation. *Int J Cardiol* 2004; 97 (3): 349–53.
  50. Свистов А.С., Филиппов А.Е., Никифоров В.С., Никитин А.Э. Ишемическая болезнь сердца: диагностика и лечение жизнеспособного миокарда. СПб.: ВМедА, 2004. / Svistov A.S., Filippov A.E., Nikiforov V.S., Nikitin A.E. Ishemicheskaiia bolezni' serdtsa: diagnostika i lechenie zhiznesposobnogo miokarda. SPb.: VMedA, 2004. [in Russian]
  51. Yang T, Lu MJ, Sun HS et al. Myocardial scar identified by magnetic resonance imaging can predict left ventricular functional improvement after coronary artery bypass grafting. *PLoS One* 2013; 8 (12): e81991.
  52. Никифоров В.С., Диденко М.В., Хубулава Г.Г., Свистов А.С. Ресинхронизация работы сердца – современный метод коррекции хронической сердечной недостаточности. *Рос. кардиол. журн.* 2005; (4): 87–93. / Nikiforov V.S., Didenko M.V., Khubulava G.G., Svistov A.S. Resinkhronizatsiia raboty serdtsa – sovremennyi metod korrektsii khronicheskoi serdechnoi nedostatochnosti. *Ros. kardiolog. zhurn.* 2005; (4): 87–93. [in Russian]
  53. Ponikowski P, Voors AA, Anker SD et al. 2016 ESC Guidelines for the diagnosis and treatment of acute and chronic heart failure: The Task Force for the diagnosis and treatment of acute and chronic heart failure of the European Society of Cardiology (ESC). Developed with the special contribution of the Heart Failure Association (HFA) of the ESC. *Eur Heart J* 2016; 37 (27): 2129–200.
  54. Никифоров В.С., Лебедев Д.С., Свистов А.С. Роль эхокардиографических методик в оптимизации электрофизиологической ресинхронизации работы сердца у больных с хронической сердечной недостаточностью. *Ультразвуковая и функциональная диагностика*. 2006; 4: 118–28. / Nikiforov V.S., Lebedev D.S., Svistov A.S. Rol' ekhokardiograficheskikh metodik v optimizatsii elektrofiziolohicheskoi resinkhronizatsii raboty serdtsa u bol'nykh s khronicheskoi serdechnoi nedostatochnosti. *Ul'trazvukovaia i funktsional'naia diagnostika*. 2006; 4: 118–28. [in Russian]
  55. Khan FZ, Virdee MS, Palmer CR et al. Targeted left ventricular lead placement to guide cardiac resynchronization therapy: the TARGET study: a randomized, controlled trial. *J Am Coll Cardiol* 2012; 59: 1509–18.
  56. Bakos Z, Ostenfeld E, Markstad H et al. A comparison between radial strain evaluation by speckle-tracking echocardiography and cardiac magnetic resonance imaging, for assessment of suitable segments for left ventricular lead placement in cardiac resynchronization therapy. *Europace* 2014; 16 (12): 1779–86.
  57. Adelstein EC, Tanaka H, Soman P et al. Impact of scar burden by single-photon emission computed tomography myocardial perfusion imaging on patient outcomes following cardiac resynchronization therapy. *Eur Heart J* 2011; 32: 93–103.
  58. Bose A, Kandala J, Upadhyay GA et al. Impact of myocardial viability and left ventricular lead location on clinical outcome in cardiac resynchronization therapy recipients with ischemic cardiomyopathy. *J Cardiovasc Electrophysiol* 2014; 25: 507–13.

## СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ

Никифоров Виктор Сергеевич – д-р мед. наук, проф. каф. функциональной диагностики ФГБОУ ВО «СЗГМУ им. И.И.Мечникова». E-mail: viktor.nikiforov@szgmu.ru