## Современные возможности speckle tracking эхокардиографиии в клинической практике

Виктор Сергеевич Никифоров<sup>1</sup>, Юлия Владиславовна Никищенкова<sup>2</sup>\*

- <sup>1</sup> Северо-Западный государственный медицинский университет им. И.И. Мечникова Россия, 191015, Санкт-Петербург, ул. Кирочная, 41
- <sup>2</sup> Госпиталь для ветеранов войн. Россия, 193079, Санкт-Петербург, Народная ул. 21, к. 2

Speckle tracking эхокардиография – перспективная современная методика для оценки структурно-функциональных изменений миокарда. Оцениваемый с ее помощью показатель глобальной продольной деформации миокарда более чувствителен к ранним изменениям сократимости левого желудочка, чем фракция выброса. Диагностические возможности speckle tracking эхокардиографии нашли отражение в клинических рекомендациях и согласительных документах Европейского общества кардиологов (ESC), Европейской ассоциации специалистов по методам визуализации сердечно-сосудистой системы (EACVI) и Американского общества эхокардиографии (ASE). Целью данной статьи является изложение основных принципов speckle tracking эхокардиографии и возможностей клинического применения этой новой технологии. Уделено внимание использованию speckle tracking эхокардиографии при сердечной недостаточности, коронарной патологии и инфаркте миокарда, гипертрофии левого желудочка при артериальной гипертензии, гипертрофической кардиомиопатии и амилоидозе сердца, клапанных пороках сердца, констриктивном перикардите и эффекте кардиотоксичности при лечении онкопатологии.

Ключевые слова: speckle tracking, эхокардиография, деформация миокарда, дисфункция миокарда, заболевания сердца.

**Для цитирования:** Никифоров В.С., Никищенкова Ю.В. Современные возможности speckle tracking эхокардиографиии в клинической практике. *Рациональная Фармакотерапия в Кардиологии* 2017;13(2):248-255. DOI: http://dx.doi.org/10.20996/1819-6446-2017-13-2-248-255

#### Modern Possibilities of Speckle Tracking Echocardiography in Clinical Practice

Viktor S. Nikiforov<sup>1</sup>, Iulya V. Nikishchenkova<sup>2</sup>\*

<sup>1</sup>North-Western State Medical University named after I.I. Mechnikov. Kirochnaya ul. 41, Saint Petersburg, 191015, Russia <sup>2</sup>Hospital for Veterans of Wars. Narodnaya ul. 21-2, Saint Petersburg, 193079 Russia.

Speckle-tracking echocardiography is promising modern technique for evaluation of structural and functional changes in the myocardium. It evaluates the indicator of global longitudinal myocardial deformation, which is more sensitive than ejection fraction to early changes of left ventricular contractility. The diagnostic capabilities of speckle tracking echocardiography are reflected in clinical recommendations and consensus statements of European Society of Cardiology (ESC), European Association of Cardiovascular Imaging (EACVI) and American Society of Echocardiography (ASE). The aim of this paper is describe basic principles of speckle tracking echocardiography and clinical applications of this new technology. Attention is paid to the use of speckle tracking echocardiography in such heart pathologies as heart failure, coronary heart disease and myocardial infarction, left ventricular hypertrophy in arterial hypertension, hypertrophic cardiomyopathy and amyloidosis of the heart, valvular heart disease, constrictive pericarditis and cancer therapy-induced cardiotoxicity.

Keywords: speckle tracking, echocardiography, myocardial strain, myocardial dysfunction, heart diseases.

**For citation:** Nikiforov V.S., Nikishchenkova I.V. Modern Possibilities of Speckle Tracking Echocardiography in Clinical Practice. *Rational Pharmacotherapy in Cardiology* 2017;13(2):248-255. (In Russ). DOI: 10.20996/1819-6446-2017-13-2-248-255

\*Corresponding Author (Автор, ответственный за переписку): silfish@mail.ru

Received / Поступила: 23.12.2016 Accepted / Принята в печать: 14.03.2017

#### Введение

Серьезные успехи в развитии сердечно-сосудистой визуализации с помощью ультразвука в последние десятилетия способствовали не только формированию интереса кардиологов к оценке функции миокарда, но и расширению представлений о физиологии сердца. Развитие эхокардиографической аппаратуры в 1990-е годы сделало доступной для практического применения тканевую допплерографию [1]. Дальнейшее совершенствование цифровой обработки ультразвуковых изображений способствовало появлению прин-

ципиально новой методики оценки механики миокарда – speckle tracking эхокардиографии (STE), о которой будет идти речь в данной статье.

Многочисленные исследования, посвященные применению новых эхокардиографических методик, послужили основанием европейским и американским экспертам для упоминания методики оценки деформации миокарда с помощью STE в рекомендациях по количественной оценке эхокардиографии у взрослых [2], а также для опубликования отдельных рекомендаций, посвященных новым эхокардиографическим методикам:

«Существующие и новые эхокардиографические методы количественной оценки механики сердца» (ASE/EAE, 2011) и «Описание единого стандарта 2D speckle tracking эхокардиографии» (EACVI/ASE, 2015) [3, 4].

В европейских рекомендациях по диагностике и лечению сердечной недостаточности (ESC, 2016) подчеркивается тот факт, что в последние годы продемонстрированы воспроизводимость и доступность для клинического применения тканевой допплерографии и эхокардиографической оценки деформации миокарда [5]. Имеются данные о том, что такая общепринятая характеристика функции миокарда, как фракция выброса в ряде случаев может быть недостаточно информативна и не коррелировать с тяжестью клинического состояния, особенно на начальных стадиях сердечной недостаточности [2, 5]. Не случайно для обозначения кардиальной патологии у таких пациентов предложен самостоятельный термин – «сердечная недостаточность с сохраненной фракцией выброса». Применение современных эхокардиографических методик расширяет диагностические возможности в плане оценки систолической и диастолической функций у этой категории кардиологических больных, а также при целом ряде патологических состояний.

Целью данной статьи является изложение основных принципов speckle tracking эхокардиографии и возможностей клинического применения этой новой технологии.

### Эхокардиографическая оценка механики миокарда

В ходе сердечной деятельности происходит последовательное чередование расслабления и сокращения миокардиальных волокон. Происходящие при этом изменения толщины стенки и диаметра полости левого желудочка (ЛЖ) доступны для измерения с помощью стандартной эхокардиографии. В то же время механика миокарда во время кардиоцикла может быть охарактеризована параметрами скорости (скорости движения участков миокарда в разные фазы сердечного цикла), времени (начало, окончание и продолжительность движения участков миокарда в ходе сердечного цикла), а также величины смещения (амплитуды движения миокарда) [3]. Более широкие возможности для их количественного анализа появились с внедрением тканевой допплерографии [6].

Помимо указанных характеристик с помощью тканевой допплерографии можно оценить степень изменения толщины или длины участка миокарда от конечной диастолической до конечной систолической величины в процентах — так называемую деформацию или стрейн (strain) [7]. Ее производной является величина скорости деформации или стрейн рейт (strain rate), отражающая скорость укорочения или утолщения миокардиальных во-

локон во времени [3]. Особенностью анализа деформации с помощью тканевой допплерографии является то, что она позволяет более точно охарактеризовать деформацию миокарда в продольном направлении [3, 8].

Погрешность в оценку деформации миокарда могут вносить особенности методики тканевой допплерографии [1, 3]. Во-первых, это необходимость направления ультразвукового луча параллельно исследуемым структурам, и, как следствие, возможность наилучшей оценки движения волокон миокарда только в продольном направлении. Во-вторых, известно, что движение сердца в грудной клетке имеет сложную траекторию. Это ведет к погрешностям оценки скоростей движения отдельных сегментов миокарда. Кроме того, на точность измерений при тканевой допплерографии влияет то, что движение сердца не позволяет четко фиксировать для измерения конкретный участок миокарда, и в зону интереса неизбежно попадают соседние участки. Проблемы тканевой допплерографии были решены с появлением нового метода оценки деформации и скорости деформации - STE [9].

### Методика спекл-трекинг эхокардиографии левого желудочка

В основе методики STE лежит отслеживание траектории движения (tracking) в ходе сердечного цикла акустических маркеров миокарда (speckle) в серошкальном двухмерном ультразвуковом изображении [10]. Каждый участок ткани миокарда кодируется индивидуальным оттенком серого цвета. При этом формируется уникальный «рисунок акустических пятен» (speckle pattern), характерный для конкретного участка миокарда, который может быть отслежен с помощью специализированного программного обеспечения в течение сердечного цикла [7]. В результате компьютерной обработки траектории движения акустических пятен получают цифровые значения, графики и диаграммы деформации и скорости деформации ЛЖ (глобальная деформация) и его сегментов (региональная деформация) (рис. 1). К преимуществам STE следует отнести то, что наличие акустических маркеров позволяет более точно по сравнению с тканевой допплерографией оценивать механику отдельных участков миокарда [11].

STE не зависит от угла сканирования, что дает возможность оценивать движения миокарда в трех плоскостях (продольной, циркулярной и радиальной) [10]. Известно, что движение миокарда в этих плоскостях определяется архитектоникой слоев миокардиальных волокон: во время кардиоцикла субэндокардиальный и субэпикардиальный слои движутся спиралевидно в противоположных направлениях, а средний слой – циркулярно [3]. Такое движение волокон миокарда способствует ротации (rotation) верхушечной и базальной частей ЛЖ (по часовой стрелке движется базальная часть,

против – верхушечная) [9]. Выраженность ротации может быть охарактеризована разностью между соответствующими углами сдвига верхушечных и базальных сегментов миокарда [12].

Взаимодействие слоев волокон миокарда во время сердечного цикла создает скручивающее движение или скручивание (twist), по сути, формирующее сердечный выброс [3]. Для оценки выраженности скручивания (torsion) у лиц с разными размерами сердца предложено угол поворота делить на длину ЛЖ в продольной плоскости, тем самым учитывать расстояние между верхушкой и основанием ЛЖ [9]. Величина скручивания ЛЖ увеличивается с возрастом [10].

В фазу изоволюмического расслабления происходит обратное сокращению движение волокон миокарда, так называемое раскручивание (untwist), то есть их возвращение в исходное состояние к началу кардиоцикла [9]. Изучение обратного вращательного движения волокон миокарда имеет клиническое значение для оценки диастолической функции ЛЖ [3, 10].

Однако следует отметить и ряд ограничений, присущих двухмерной (2D) STE: зависимость от дыхательных движений и артефактов изображения, разная точность отслеживания акустических маркеров в продольном и поперечном направлениях [4, 9]. Лежащее в основе STE отслеживание акустических маркеров миокарда требует оптимальной частоты кадров [4].

До настоящего времени существуют сложности с общепринятыми нормативами показателей деформации и скорости деформации по STE [9]. В исследовании HUNT, включавшем 1266 здоровых лиц, средние значения продольной деформации и скорости деформации, соответственно, составили: -17,4%, -1,05 с<sup>-1</sup> у женщин и -15,9%, -1,01 с<sup>-1</sup> у мужчин [8].

В связи с тем, что вследствие особенностей специализированного программного обеспечения различных производителей параметры оценки не являются взаимозаменяемыми, в рекомендациях представлен диапазон средних значений [2]. В качестве примерного ориентира в рекомендациях указана величина глобальной продольной деформации -20%, абсолютные значения выше которой свидетельствуют о норме [2]. Установлено, что женщины характеризуются более высокими абсолютными значениями деформации миокарда, с возрастом глобальная деформация уменьшается [8, 10].

Последние разработки в области трехмерной (3D) эхокардиографии позволили применить ее для оценки деформации с помощью STE. Преимуществами 3D STE являются возможность получения объемных изображений, преодоление проблемы зависимости от частоты кадров, ритма сердца, дыхания и помех от движения пациента [10]. Имеются данные о более точном анализе деформации миокарда с помощью 3D STE по

сравнению с 2D STE [13]. Результаты 3D STE хорошо коррелируют с анализом деформации с помощью магнитно-резонансной томографии [14].

#### Спекл-трекинг эхокардиография в оценке функции правого желудочка и левого предсердия

Оценка функции правого желудочка с помощью традиционной эхокардиографии ограничена вследствие его неправильной геометрической формы [15]. При этом форма правого желудочка не оказывает существенного влияния на точность анализа деформации с помощью STE, что дает дополнительные диагностические возможности у лиц с патологией правого желудочка [15, 16]. Имеются данные о снижении деформации правого желудочка у больных у лиц с легочной гипертензией [16], тромбоэмболией легочной артерии [17].

Предпринимаются попытки применения STE для оценки функции левого предсердия [18, 19], перспективным может быть анализ деформации левого предсердия у лиц с сердечной недостаточностью с сохраненной фракцией выброса [20], гипертрофией ЛЖ [19] у пациентов с фибрилляцией предсердий [21]. Однако существуют технические проблемы измерений, связанные с анатомией легочных вен и ушка левого предсердия [11]. Необходимо дополнительное изучение возможности более широкого практического применения оценки деформации левого предсердия.

## Применение спекл-трекинг эхокардиографии при гипертрофии левого желудочка

Одним из направлений использования STE в клинической практике является изучение функции миокарда при заболеваниях, сопровождающихся гипертрофией ЛЖ, в частности, при артериальной гипертензии и гипертрофической кардиомиопатии [9]. Раскручивание и продольная скорость деформации являются более чувствительным показателями для диагностики дисфункции миокарда на фоне гипертрофии, чем фракция выброса ЛЖ, и их нарушение может предшествовать снижению фракции выброса ЛЖ [11, 22]. Снижение продольной глобальной деформации с помощью STE может быть использовано для отличия патологической гипертрофии ЛЖ от физиологических изменений миокарда у спортсменов [9, 10].

В действующих рекомендациях Европейского общества кардиологов (ESC) по гипертрофической кардиомиопатии подчеркивается, что у пациентов с этой патологией наблюдается ухудшение продольной деформации ЛЖ (рис. 2A и 2B), что позволяет применять данный показатель для постановки диагноза на ранней стадии заболевания [23]. Продольная функция может быть нарушена даже до формирования выраженной ги-

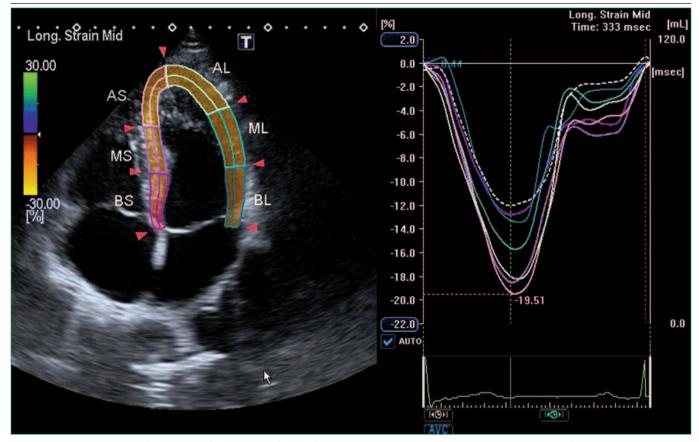


Figure 1. Longitudinal deformation of segments of the left ventricle in the apical four-chamber position of the heart (on the left - a two-dimensional echogram with automatic allocation of segments of the LV, on the right - graphs of longitudinal deformation of the myocardium)

Рисунок 1. Продольная деформации сегментов ЛЖ в верхушечной четырехкамерной позиции сердца (слева – двухмерная эхограмма с автоматическим выделением сегментов ЛЖ, справа – графики продольной деформации миокарда)

AL - apical lateral, ML - middle lateral, BL - basal lateral, AS - apical septal, MS - intermediate septal, BS - basal septal AL – боковой апикальный, ML – боковой средний, BL – боковой базальный, AS – перегородочный апикальный, MS – перегородочный средний, BS – перегородочный базальный

пертрофии миокарда у родственников с соответствующей генетической мутацией [11].

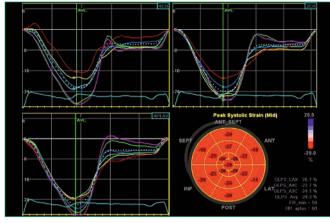
Анализ скорости деформации и деформации с помощью STE дает дополнительные возможности в диагностике амилоидоза сердца. В отличие от других причин гипертрофии ЛЖ отложение кардиального амилоида способствует выраженному нарушению деформации миокарда во всех исследуемых направлениях – продольном, циркулярном и радиальном [24].

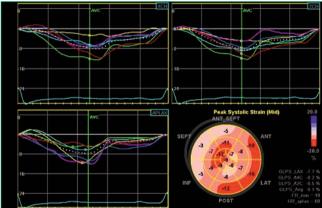
## Применение спекл-трекинг эхокардиографии при ишемической болезни сердца

Многочисленные исследования подтверждают важную роль STE в диагностике дисфункции миокарда у больных ишемической болезнью сердца [2, 25]. Это обусловлено возможностью оценки продольной деформации ЛЖ, характеризующей функцию наиболее подверженных ишемии субэндокардиальных волокон миокарда [11, 26]. Показана возможность применения

STE при стресс-эхокардиографии, глобальная систолическая деформация миокарда по данным STE является независимым предиктором значимой коронарной обструкции в покое и в ходе добутаминовой стресс-эхокардиографии [25, 27]. Кроме того, возможна оценка снижения систолической деформации на фоне нагрузочной пробы в ишемизированных сегментах миокарда – региональной деформации [27]. Такой подход обеспечивает дополнительный количественный критерий выявления участков миокарда в бассейне кровоснабжения стенозированных коронарных артерий. В то же время известно, что величина региональной деформации может отличаться при анализе на аппаратуре разных производителей [3]. Следует отметить, что нормативы параметров региональной деформации, оцениваемых с помощью STE, являются предметом продолжающихся научных исследований, и остаются окончательно не решенным [2].

Другая сфера применения STE при ИБС – диагностика инфаркта миокарда без подъема сегмента ST, когда от-





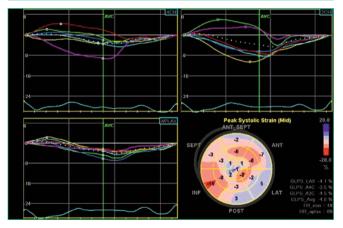


Figure 2. Graphs of longitudinal myocardial deformation in 17 segments of the left ventricle, obtained in the three apical positions of the heart and quantitative values of myocardial deformation, presented in the diagram of segments of the left ventricle as a target

A. Norm. B. Patient with severe left ventricular hypertrophy. C. Patient with heart failure
Segments of the left ventricle: ANT\_SEPT - anteroseptal,
ANT - anterior, LAT - lateral, POST - posterior, INF - inferior,
SEPT - septal

Рисунок 2. Графики продольной деформации миокарда по 17 сегментам ЛЖ, полученные в трех верхушечных позициях сердца, и количественные значения деформации миокарда, представленные на диаграмме сегментов ЛЖ в виде мишени

А. Норма. В. Пациент с выраженной гипертрофией ЛЖ. С. Пациент с сердечной недостаточностью Сегменты ЛЖ: ANT\_SEPT – передне-септальные, ANT – передние, LAT – боковые, POST – задние, INF – нижние, SEPT – септальные сутствие типичных для инфаркта изменений реполяризации на электрокардиограмме ограничивает чувствительность выявления лиц с окклюзией коронарных артерий [11]. Кроме того, у пациентов с острым коронарным синдромом STE позволяет прогнозировать эффект реперфузионной терапии и осложнения [28, 29].

Изучается возможность применения STE для дифференциальной диагностики жизнеспособного миокарда от рубцовой ткани [11]. В качестве потенциальных критериев рассматриваются снижение глобальной продольной деформации [30], сегментарной радиальной деформации [25] и наличие постсистолической деформации [11].

## Применение спекл-трекинг эхокардиографии при сердечной недостаточности

Оценка деформации миокарда с помощью STE является чувствительным методом выявления нарушений сократимости миокарда у лиц с сохраненной фракцией выброса ЛЖ [31]. У больных хронической сердечной недостаточностью (ХСН) отмечается снижение деформации миокарда как в продольном, так и в радиальном и циркулярном направлениях, что может быть обусловлено изменением ориентации волокон на фоне ремоделирования миокарда [32]. Обнаружено, что более выраженное нарушение деформации миокарда наблюдается у пациентов с ХСН III-IV функциональных классов [9] (рис. 2C). STE может быть полезна для стратификации риска больных ХСН [33].

Одним из эффективных способов лечения ХСН является сердечная ресинхронизирующая терапия (СРТ), позволяющая уменьшить электромеханическую неоднородность миокарда желудочков и связанную с ней внутрисердечную диссинхронию [5]. На сегодняшний день существуют многочисленные эхокардиографические методики выявления внутрисердечной диссинхронии у больных ХСН [34]. В то же время результаты многоцентровых исследований не дают основания использовать их в качестве надежного критерия отбора таких пациентов на сердечную ресинхронизирующую терапию [5]. Определенные надежды в плане выявления внутрисердечной диссинхронии связывают с применением STE. В исследовании STAR было установлено, что асинхронность показателей радиальной и циркулярной деформации позволяет спрогнозировать успешность сердечной ресинхронизирующей терапии [35]. Позднее эти результаты были подтверждены исследованиями MUSIC и MADIT-CRT [36, 37]. При этом увеличение уровня глобальной продольной деформации после СРТ ассоциировалось со снижением смертности пациентов [37]. Данные исследований свидетельствуют о том, что оценка диссинхронии миокарда с помощью STE является более надежной и воспроизводимой, чем традиционные эхокардиографические подходы [38, 39].

Дополнительная информация по функции ЛЖ может быть получена с помощью STE у больных с терминальной XCH при трансплантации сердца. Показано, что ухудшение глобальной радиальной деформации, радиальной и циркулярной скоростей деформации миокарда может служить ранним неинвазивным маркером отторжения трансплантата [40].

# Применение спекл-трекинг эхокардиографии при заболеваниях перикарда и рестриктивной кардиомиопатии

Одним из перспективных направлений практического применения STE является дифференциальная диагностика рестриктивной кардиомиопатии и констриктивного перикардита [41].

До недавнего времени большие надежды возлагались на тканевую допплерографию. В качестве маркера рестрикции используется снижение ранней диастолической скорости движения миокарда в продольном направлении, в то время как при констриктивном перикардите эта скорость остается сохраненной [41]. При этом тканевая допплерография не позволяет адекватно оценивать функцию циркулярных и радиальных слоев миокарда [6].

В исследованиях с применением STE показано, что для констриктивного перикардита характерно не только сохранение функции продольных волокон миокарда (глобальная продольная деформация не изменяется), но имеют место нарушения радиальной и циркулярной деформации, скручивания и раннего диастолического раскручивания, что может быть обусловлено ухудшением кинетики субэпикардиальных слоев миокарда [42]. При рестриктивной кардиомиопатии преимущественно снижается продольная деформация, и в меньшей степени — циркулярная деформация, что связано с ухудшением функции субэндокардиальных волокон на фоне инфильтративных и фиброзных изменений [10, 42].

Имеются данные о возможности использования для дифференциальной диагностики констриктивного перикардита и рестриктивной кардиомиопатии параметров региональной продольной систолической деформации, в частности, соотношения деформации миокарда боковой стенки ЛЖ к деформации миокарда межжелудочковой перегородки [43].

### Применение спекл-трекинг эхокардиографии при клапанной патологии

STE может использоваться для оценки функции миокарда у больных с клапанной патологией. Особый интерес представляют бессимптомные пациенты [11].

У лиц с тяжелым аортальным стенозом и нормальной фракцией выброса ЛЖ нарушения продольной деформации пропорциональны степени стеноза клапана [44]. С помощью STE показано, что раскручивание миокарда уменьшается у пациентов с умеренным и тяжелым аортальным стенозом, что может быть обусловлено ухудшением кровоснабжения субэндокардиальных волокон [45].

Снижение глобальной продольной деформации ЛЖ отмечается при выраженной бессимптомной аортальной недостаточности [46], умеренной или тяжелой степени митральной недостаточности [47], и может быть чувствительным маркером для раннего выявления нарушения сократимости миокарда [48].

## Спекл-трекинг эхокардиография в оценке эффекта кардиотоксичности при лечении онкопатологии

Современные препараты для лечения онкологических заболеваний способствуют снижению смертности среди больных раком. В то же время химиотерапия может оказывать токсическое воздействие на миокард, приводящее к развитию сердечной недостаточности [5]. Для диагностики кардиотоксического эффекта противоопухолевой терапии используется эхокардиографическая оценка функции миокарда – фракции выброса ЛЖ [49]. По данным литературы снижение деформации миокарда является более информативным показателем, чем фракция выброса ЛЖ для раннего выявления бессимптомной систолической дисфункции, вызванной фармакологическим влиянием при лечении онкопатологии [9, 50]. Хотя показатели радиальной и циркулярной деформации значительно снижаются во многих исследованиях у больных при лечении онкологическими препаратами, параметры продольной деформации более чувствительны для ранней диагностики [51]. Выявлена корреляция между снижением глобальной продольной деформации и кумулятивной дозой антрациклинов [52]. У пациентов с раком молочной железы, которые находятся в группе риска по трастузумаб-индуцированной кардиотоксичности, глобальная продольная деформация может служить ранним предиктором последующего снижения фракции ЛЖ [51].

В ряде работ показано, что более точным показателям для прогноза кардиотоксического эффекта химиотерапии является динамика изменения глобальной продольной деформации на фоне лечения в процентах, так, ее снижение >11% с чувствительностью 65% и специфичностью 94% предсказывает кардиотоксичность трастузумаба. В согласительном документе по применению визуализации при противоопухолевой терапии (ASE/EACVI, 2014) указано, что наиболее точно позволяет прогнозировать развитие кардиотоксического эффекта величина изменения деформации >15% [49].

В последнее время ведутся исследования по совместному использованию показателей тропонина I сыворотки крови и изменений продольной деформации. Сочетание показателей продольной деформации <19% и тропонина I >30 нг/мл повышает прогностическую ценность выявления кардиотоксичности [53].

Большие надежды в плане оценки влияния противоопухолевой терапии на сердце возлагаются на использование 3D STE. В частности, имеются данные о том, что 3D STE превосходит биомаркеры и фракцию выброса ЛЖ в прогнозировании будущего развития кардиотоксичности [50]. Однако необходимы многоцентровые исследования, для того чтобы использовать эти данные в повседневной клинической практике.

#### Заключение

В заключение следует отметить, что в настоящее время STE является доступным методом для применения в клинической практике, предоставляющим дополнительные возможности в оценке функции миокарда

#### References / Литература

- Kadappu K.K., Thomas L. Tissue Doppler imaging in echocardiography: value and limitations. Heart Lung Circ. 2015;24(3):224-33.
- Lang R.M., Badano L.P., 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.
- Mor-Avi V., Lang R.M., Badano L.P., et al. Current and evolving echocardiographic techniques for the quantitative evaluation of cardiac mechanics: ASE/EAE consensus statement on methodology and indications endorsed by the Japanese Society of Echocardiography. Eur J Echocardiogr. 2011;12(3):167-205.
- Voigt J.U., Pedrizzetti G., Lysyansky P., et al. Definitions for a common standard for 2D speckle tracking echocardiography: consensus document of the EACVI/ASE/Industry Task Force to standardize deformation imaging. Eur Heart J Cardiovasc Imaging. 2015;16(1):1-11.
- Ponikowski P., Voors A.A., Anker S.D., 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.
- 6. Nikiforov V.S., Tyutin A.R., Palagutin M.A., et al. Noninvasive evaluation of hemodynamic by tissue Doppler imaging. Regionarnoe Krovoobrashchenie i Mikrotsirkulyatsiya. 2011;10(2):13-8. (In Russ.) [Никифоров В.С., Тютин А.Р., Палагутин М.А., и др. Неинвазивная оценка гемодинамики с помощью тканевой допплерографии. Регионарное Кровообращение и Микроциркуляция. 2011;10(2):13-8].
- 7. Nikiforov V.S., Marsalskaya O.A., Novikov V.I. Echocardiographic assessment of myocardial strain in clinical practice. Saint Petersburg.: KultInformPress; 2015. (In Russ.) [Никифоров В.С., Марсальская О.А., Новиков В.И. Эхокардиографическая оценка деформации миокарда в клинической практике. СПб.: КультИнформПресс; 2015]
- Dalen H., Thornstensen A., Aase S.A., et al. Segmental and global longitudinal strain and strain rate based on echocardiography of 1266 helathy individuals: the HUNT study in Norway. Eur J Echocardiogr. 2010;11(2):176-83.
- Mondillo S., Galderisi M., Mele D., et al.; Echocardiography Study Group Of The Italian Society Of Cardiology (Rome, Italy). Speckle-tracking echocardiography: a new technique for assessing myocardial function. J Ultrasound Med. 2011;30(1):71-83.
- Abduch M.C., Alencar A.M., Mathias W.Jr, Vieira M.L. Cardiac mechanics evaluated by speckle tracking echocardiography. Arg Bras Cardiol. 2014;102(4):403-12.
- Smiseth O.A., Torp H., Opdahl A., et al. Myocardial strain imaging: how useful is it in clinical decision making? Eur Heart J. 2016;37(15):1196-207.
- Bloechlinger S., Grander W., Bryner J., D\( \text{Jnnser M.W. Left ventricular rotation: a neglected aspect of the cardiac cycle. Intensive Care Med. 2011;37(1):156-63.
- Seo Y., Ishizu T., Atsumi A., et al. Three-dimensional speckle tracking echocardiography. Circ J. 2014;78(6):1290-301.
- 14. Chang S.A., Lee S.C., Kim E.Y., et al. Feasibility of single-beat full-volume capture real-time three-dimensional echocardiography and auto-contouring algorithm for quantification of left ventricular volume: validation with cardiac resonance imaging. J Am Soc Echocardiogr. 2011;24(8):853-9.

при различной кардиальной патологии. Важным является то, что STE может использоваться не только для диагностики, но и для оценки прогноза.

В то же время необходимы дальнейшие исследования, в том числе — многоцентровые, для изучения диагностической точности и воспроизводимости показателей STE. Кроме того, программное обеспечение STE различных фирм-производителей эхокардиографической аппаратуры нуждается в стандартизации.

Тем не менее, оценка деформации миокарда и скручивания ЛЖ с помощью STE может быть весьма по¬лезной в целом ряде клинических ситуаций как вспомогательный инструмент количе-ственной характеристики функции мио¬карда и сердца в целом.

**Конфликт интересов.** Все авторы заявляют об отсутствии потенциального конфликта интересов, требующего раскрытия в данной статье.

**Disclosures.** All authors have not disclosed potential conflicts of interest regarding the content of this paper.

- 15. Kossaify A. Echocardiographic Assessment of the right ventricle, from the conventional approach to speckle tracking and three-dimensional imaging, and insights into the "right way" to explore the forgotten chamber. Clin Med Insights Cardiol. 2015;9:65-75.
- Pirat B., McCulloch M.L., Zoghbi W.A. Evaluation of global and regional right ventricular systolic function in patients with pulmonary hypertension using a novel speckle tracking method. Am J Cardiol. 2006;98(5):699-704.
- Sugiura E., Dohi K., Onishi K., et al. Reversible right ventricular regional non-uniformity quantified by speckle-tracking strain imaging in patients with acute pulmonary thromboembolism. J Am Soc Echocardiogr. 2009;22(12):1353-9.
- Cameli M., Lisi M., Righini F.M., Mondillo S. Novel echocardiographic techniques to assess left atrial size, anatomy and function. Cardiovasc Ultrasound. 2012;10:4.
- Todaro M.C., Choudhuri I., Belohlavek M., et al. New echocardiographic techniques for evaluation of left atrial mechanics. Eur Heart J Cardiovasc Imaging. 2012;13(12):973-84.
- Kurt M., Wang T., Torre-Amione G., Nagueh S.F. Left atrial function in diastolic heart failure. Circ Cardiovasc Imaging. 2009;2(1):10-5.
- 21. Tsai W.C., Lee C.H., Lin C.C., et al. Association of left atrial strain and strain rate assessed by speckle tracking echocardiography with paroxysmal atrial fibrillation. Echocardiography. 2009;26(10):
- 22. He X.W., Song Z.Z. Evaluation of left ventricular function, rotation, twist and untwist in patients with hypertrophic cardiomyopathy. Exp Clin Cardiol. 2013;18(1):e47-9.
- 23. Elliott P.M., Anastasakis A., Borger M.A., et al. 2014 ESC Guidelines on diagnosis and management of hypertrophic cardiomyopathy: the Task Force for the Diagnosis and Management of Hypertrophic Cardiomyopathy of the European Society of Cardiology (ESC). Eur Heart J. 2014;35:2733-79.
- Koyama J., Ikeda S., Ikeda U. Echocardiographic assessment of the cardiac amyloidoses. Circ J. 2015;79(4):721-34.
- Hoit B.D. Strain and strain rate echocardiography and coronary artery disease. Circ Cardiovasc Imaging. 2011;4(2):179-90.
- 26. Mizuguchi Y., Oishi Y., Miyoshi H., et al. The functional role of longitudinal, circumferential, and radial myocardial deformation for regulating the early impairment of left ventricular contraction and relaxation in patients with cardiovascular risk factors: a study with two-dimensional strain imaging. J Am Soc Echocardiogr. 2008;21(10):1138-44.
- Argyle R.A., Ray S.G. Stress and strain: double trouble or useful tool? Eur J Echocardiogr. 2009;10(6):716-22.
- Favot M., Courage C., Ehrman R., et al. Strain Echocardiography in Acute Cardiovascular Diseases. West J Emerg Med. 2016;17(1): 54-60.
- Park Y.H., Kang S.J., Song J.K., et al. Prognostic value of longitudinal strain after primary reperfusion therapy in patients with anterior-wall acute myocardial infarction. J Am Soc Echocardiogr. 2008;21:262-7.
- Roes S.D., Mollema S.A., Lamb H.J., et al. Validation of echocardiographic two-dimensional speckle tracking longitudinal strain imaging for viability assessment in patients with chronic ischemic left ventricular dysfunction and comparison with contrast-enhanced magnetic resonance imaging. Am J Cardiol. 2009;104(3):312-7.

### Possibilities of Speckle Tracking Echocardiography Возможности speckle tracking эхокардиографии

- 31. Lo C.I., Lai Y.H, Wu J.J., et al. Cardiac systolic mechanics in heart failure with preserved ejection fraction: new insights and controversies. Acta Cardiol Sin. 2013;29(6):515-23.
- Popescu B.A., Beladan C.C., Calin A., et al. Left ventricular remodelling and torsional dynamics in dilated cardiomyopathy: reversed apical rotation as a marker of disease severity. Eur J Heart Fail. 2009;11(10):945-51.
- Nahum J., Bensaid A., Dussault C., et al. Impact of longitudinal myocardial deformation on the prognosis of chronic heart failure patients. Circ Cardiovasc Imaging. 2010;3(3):249-56.
- 34. Nikiforov V.S., Lebedev D.S., Svistov A.S. The value of echocardiographic techniques in optimization of heart electrophysiological resynchronization in patients with chronic heart insufficiency. Ul'trazvukovaya i Funktsional'naya Diagnostika. 2006;4:118-28. (In Russ.) [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;4:118-281.
- Tanaka H., Nesser H., Buck T., et al. Dyssynchrony by speckle-tracking echocardiography and response to cardiac resynchronization therapy: results of the Speckle Tracking and Resynchronization (STAR) study. Eur Heart J. 2010;31:1690-700.
- 36. Lim P., Donal E., Lafitte S., et al. Multicentre study using strain delay index for predicting response to cardiac resynchronization therapy (MUSIC study). Eur J Heart Failure. 2011;13:981-84.
- Pouleur A., Knappe D., Shah A., et al. Relationship between improvement in left ventricular dyssynchrony and contractile function and clinical outcome with cardiac resynchronization therapy: the MA-DIT-CRT trial. Eur Heart J. 2011;32:1720-29.
- Maruo T., Seo Y., Yamada S., et al. The Speckle Tracking Imaging for the Assessment of Cardiac Resynchronization Therapy (START) study. Circ J. 2015;79(3):613-22.
- 39. Khan S.G., Klettas D., Kapetanakis S., Monaghan M.J. Clinical utility of speckle-tracking echocardiography in cardiac resynchronisation therapy. Echo Res Pract. 2016;3(1):R1-R11.
- Pieper G.M., Shah A., Harmann L., et al. Speckle-tracking 2-dimensional strain echocardiography: a new noninvasive imaging tool to evaluate acute rejection in cardiac transplantation. J Heart Lung Transplant. 2010;29(9):1039-46.
- 41. Klein A.L., Abbara S., Agler D.A., et al. American Society of Echocardiography clinical recommendations for multimodality cardiovascular imaging of patients with pericardial disease: endorsed by the Society for Cardiovascular Magnetic Resonance and Society of Cardiovascular Computed Tomography. J Am Soc Echocardiogr. 2013;26(9):965-1012.
- Sengupta P.P., Krishnamoorthy V.K., Abhayaratna W.P., et al. Disparate patterns of left ventricular mechanics differentiate constrictive pericarditis from restrictive cardiomyopathy. JACC Cardiovasc Imaging. 2008;1(1):29-38.

- Kusunose K., Dahiya A., Popović Z.B., et al. Biventricular mechanics in constrictive pericarditis comparison with restrictive cardiomyopathy and impact of pericardiectomy. Circ Cardiovasc Imaging. 2013;6(3):399-406.
- 44. Lafitte S., Perlant M., Reant P., et al. Impact of impaired myocardial deformation on exercise tolerance and prognosis in patients with asymptomatic aortic stenosis. Eur J Echocardiogr. 2009;10(3): 414-9.
- 45. van Dalen B.M., Tzikas A., Soliman O.I., et al. Left ventricular twist and untwist in aortic stenosis. Int J Cardiol. 2011;148(3):319-24.
- Mizariene V., Bucyte S., Zaliaduonyte-Peksiene D., et al. Left ventricular mechanics in asymptomatic normotensive and hypertensive patients with aortic regurgitation. J Am Soc Echocarddiogr. 2011;24(4):385-91.
- Lancellotti P., Cosyns B., Zacharakis D., et al. Importance of left ventricular longitudinal function and functional reserve in patients with degenerative mitral regurgitation: assessment by two-dimensional speckle tracking. J Am Soc Echocardiogr. 2008;21(12):1331-6.
- Galli E., Lancellotti P., Sengupta P.P., Donal E. LV mechanics in mitral and aortic valve diseases: value of functional assessment beyond ejection fraction. JACC Cardiovasc Imaging. 2014;7(11):1151-66.
- Plana J.C., Galderisi M., Barac A., et al. Expert consensus for multimodality imaging evaluation of adult patients during and after cancer therapy: a report from the American Society of Echocardiography and the European Association of Cardiovascular Imaging. Eur Heart J Cardiovasc Imaging. 2014;15(10): 1063-93.
- Pizzino F., Vizzari G., Qamar R., et al. Multimodality imaging in cardiooncology. J Oncol. 2015;2015:263950.
- Mele D., Rizzo P., Pollina A.V., et al. Cancer therapy-induced cardiotoxicity: role of ultrasound deformation imaging as an aid to early diagnosis. Ultrasound Med Biol. 2015;41(3):627-43.
- 52. Stoodley P.W., Richards D.A., Boyd A., et al. Left ventricular systolic function in HER2/neu negative breast cancer patients treated with anthracycline chemotherapy: a comparative analysis of left ventricular ejection fraction and myocardial strain imaging over 12 months. Eur J Cancer. 2013;49(16): 3396-403.
- 53. Sawaya H., Sebag I.A., Plana J.C., et al. Assessment of echocardiography and biomarkers for the extended prediction of cardiotoxicity in patients treated with anthracyclines, taxanes, and trastuzumab. Circ Cardiovasc Imaging. 2012;5(5):596-603.

About the Authors:

**Viktor S. Nikiforov** - MD, PhD, Professor, Chair of Functional Diagnostics, North-Western State Medical University named after I.I. Mechnikov

**Iulya V. Nikishchenkova** - MD, Doctor, Functional Diagnostics Department, Hospital for Veterans of Wars (Saint Petersburg) Сведения об авторах:

Никифоров Виктор Сергеевич — д.м.н., профессор, кафедра функциональной диагностики, СЗГМУ им. И.И. Мечникова Никищенкова Юлия Владиславовна — врач отделения функциональной диагностики, Госпиталь для ветеранов войн (Санкт-Петербург)