

## ВОЗМОЖНОСТИ И ОГРАНИЧЕНИЯ СПЕКЛ-ТРЕКИНГ СТРЕСС-ЭХОКАРДИОГРАФИИ

А.И. Степанова<sup>1\*</sup>, М.Н. Алехин<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup> «Центральная государственная медицинская академия» Управления делами Президента Российской Федерации, 121359, Российская Федерация, Москва, ул. Маршала Тимошенко, 19, стр. 1а

<sup>2</sup> «Центральная клиническая больница с поликлиникой» Управления делами Президента Российской Федерации, 121359, Российская Федерация, Москва, ул. Маршала Тимошенко, 15

Стресс-эхокардиография является методикой, которая позволяет оценивать сократимость миокарда и внутрисердечную гемодинамику в условиях физической нагрузки или реакции на фармакологический препарат. Оценка систолической функции левого желудочка (ЛЖ) играет важную роль в установлении прогноза и выборе стратегии лечения при различных сердечно-сосудистых заболеваниях. Технология спекл-трекинг — одна из наиболее перспективных для определения значений деформации ЛЖ, благодаря которой возможна не только визуальная, но и количественная оценка сократимости миокарда ЛЖ как в состоянии покоя, так и при проведении нагрузочных тестов. В данном обзоре проанализированы возможности применения спекл-трекинг стресс-эхокардиографии с физической нагрузкой или с введением фармакологического препарата у здоровых лиц и пациентов с различными заболеваниями, такими как ишемическая болезнь сердца (ИБС), клапанные пороки сердца, сахарный диабет, микрососудистое поражение. Наряду с этим рассмотрены различия между значениями продольной систолической деформации ЛЖ в зависимости от возраста, а также проведено сопоставление данных спекл-трекинг стресс-эхокардиографии с результатами коронарной ангиографии и компьютерной томографии коронарных артерий.

|  |   |
|--|---|
| <b>Ключевые слова:</b>                       | стресс-эхокардиография, спекл-трекинг, продольная систолическая деформация  |
| <b>Конфликт интересов:</b>                   | авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов   |
| <b>Прозрачность финансовой деятельности:</b> | никто из авторов не имеет финансовой заинтересованности в представленных материалах или методах   |
| <b>Для цитирования:</b>                      | Степанова А.И., Алехин М.Н. Возможности и ограничения спекл-трекинг стресс-эхокардиографии. Сибирский медицинский журнал. 2019;34(1):10–17. <a href="https://doi.org/10.29001/2073-8552-2019-34-1-10-17">https://doi.org/10.29001/2073-8552-2019-34-1-10-17</a> |

## CAPABILITIES AND LIMITATIONS OF SPECKLE TRACKING STRESS ECHOCARDIOGRAPHY

Anna I. Stepanova<sup>1\*</sup>, Mikhail N. Alekhin<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup> Central State Medical Academy of the Administrative Department of the President of the Russian Federation, 19, bldg. 1A, Marshal Timoshenko str., Moscow, 121359, Russian Federation

<sup>2</sup> Central Clinical Hospital of the Presidential Administration of the Russian Federation, 15, Marshal Timoshenko str., Moscow, 121359, Russian Federation

Stress echocardiography is a technique that allows to evaluate myocardial contractility and intracardiac hemodynamics under conditions of physical exercise or reaction to a pharmacological drug. Evaluation of systolic function of the left ventricle plays an important role in establishing the prognosis and choosing a treatment strategy for various cardiovascular diseases. Speckle tracking technique is one of the most promising methods for determining values of left ventricular deformation, due to which not only visual, but also quantitative assessment of left ventricular myocardial contractility is possible at rest and during stress tests. In this review, we analyzed the possibility of using speckle tracking stress echocardiography with physical exercise or with the pharmacological drug, in order to diagnose various diseases, such as ischemic heart disease, valvular heart disease, diabe-

tes mellitus, and microvascular damage. Along with this, differences between the values of the longitudinal systolic deformation depending on age were considered. We also compared diagnostic values of the data of speckle-tracking stress echocardiography and coronary angiography and values of the data of speckle-tracking stress echocardiography and computed tomography of the coronary arteries.

**Keywords:** stress echocardiography; speckle tracking; longitudinal systolic deformation  
**Conflict of interest:** the authors do not declare a conflict of interest  
**Financial disclosure:** no author has a financial or property interest in any material or method mentioned  
**For citation:** Stepanova A.I., Alekhin M.N. Capabilities and Limitations of Speckle Tracking Stress Echocardiography. The Siberian Medical Journal. 2019;34(1):10–17. <https://doi.org/10.29001/2073-8552-2019-34-1-10-17>

## Введение

Оценка функции левого желудочка (ЛЖ) имеет первостепенное значение для диагностики и установления прогноза у пациентов с различными сердечно-сосудистыми заболеваниями [1, 2]. Исследование деформации миокарда позволяет получать объективные количественные показатели глобальной функции ЛЖ и анализировать его региональную функцию в различных направлениях: продольном, циркулярном и радиальном [3]. Показатель деформации (Strain) отражает степень изменения длины анализируемого сегмента миокарда по отношению к его начальному размеру и выражается в процентах [3]. Функция миокарда обусловлена взаимодействием между разнонаправленными продольной, циркулярной и радиальной деформациями, а также сложной механикой скручивания. Продольная деформация в основном обусловлена субэндокардиальными волокнами миокарда, тогда как среднемиокардиальные и субэпикардиальные волокна отвечают за циркулярную деформацию и механику скручивания [4]. Поскольку субэндокардиальные мышечные волокна миокарда ЛЖ расположены продольно, параметры продольной систолической деформации наиболее чувствительны к ишемии и повреждению субэндокардиальных слоев миокарда [5]. Несмотря на широкие возможности спекл-трекинг эхокардиографии в оценке показателей продольной, циркулярной и радиальной деформации миокарда, а также показателей вращения и скручивания ЛЖ, в настоящее время наиболее изученной является продольная деформация ЛЖ. Значения циркулярной и радиальной деформации также могут предоставлять дополнительную информацию при оценке систолической функции ЛЖ, и сейчас они активно изучаются [6–9]. В рекомендациях Американского общества эхокардиографии и Европейского общества сердечно-сосудистой визуализации указывается, что параметр глобальной продольной деформации ЛЖ является воспроизводимым и применимым в оценке систолической функции миокарда ЛЖ в состоянии покоя [3]. Достаточно большое количество исследований демонстрируют, что применение технологии спекл-трекинг в анализе результатов стресс-эхокардиографии позволяет дать количественную оценку как глобальной деформации миокарда ЛЖ, так и деформации каждого сегмента миокарда ЛЖ [10–14]. В связи с этим, а также с появлением более совершенных эхокардиографических ультразвуковых систем технология спекл-трекинг широко используется как в эхокардиографии в покое, так и при стресс-эхокардиографии. Выполнение проб с физической нагрузкой с одновременной эхокардиографической оценкой систолической, диастолической функций ЛЖ и клапанного аппарата позволяет выявить взаимосвязь между симптомами, функциональной способностью пациента и гемодинамическими реакциями на нагрузку [8]. Появляются работы по исследованию возможностей применения технологии спекл-трекинг

при стресс-эхокардиографии для оценки деформации миокарда ЛЖ [15–17].

Целью этого обзора является анализ современных данных о возможностях спекл-трекинг стресс-эхокардиографии.

## Оценка результатов спекл-трекинг стресс-эхокардиографии у здоровых лиц

Оценка деформации миокарда с помощью спекл-трекинг стресс-эхокардиографии у здоровых лиц позволяет получить количественные значения, основываясь на которых, можно судить о нормальных значениях показателей деформации ЛЖ. Получаемые значения показателей деформации миокарда и такого интегрального показателя, как глобальная продольная систолическая деформация ЛЖ (ГПСД ЛЖ), зависят не только от состояния миокарда, но и от программного обеспечения, используемого в анализе клипов, что приводит к значительному разбросу данных о нормальных значениях ГПСД ЛЖ в литературе [3]. В рекомендациях Американского общества эхокардиографии и Европейского общества сердечно-сосудистой визуализации по количественной оценке данных эхокардиографии у взрослых лиц указывается, что ожидаемое значение ГПСД ЛЖ в покое у здорового взрослого человека должно быть около 20% [3]. Однако точные критерии нормальных значений ГПСД ЛЖ во время проведения стресс-эхокардиографии еще не определены. В связи с этим актуальным является проведение исследований по определению значений ГПСД ЛЖ среди групп здоровых лиц для определения нормальных значений ГПСД ЛЖ при стресс-эхокардиографии.

В исследовании А.Н. Larsen, Т.С. Clemmensen и соавт. (2018) по определению сократительного резерва миокарда ЛЖ во время стресс-эхокардиографии на велоэргометре у здоровых лиц анализировались значения ГПСД ЛЖ до нагрузки и после ее прекращения [18]. В данном исследовании был показан прирост значений ГПСД ЛЖ во время физической нагрузки при нормальной сократимости миокарда. Величина ГПСД ЛЖ после прекращения нагрузки составляла  $25,4 \pm 2,0\%$  ( $p < 0,0001$ ). Средний прирост значений ГПСД ЛЖ во время нагрузки составил  $5,3\%$  ( $p < 0,0001$ ). Основным выводом исследования А.Н. Larsen, Т.С. Clemmensen и соавт. стала информация о том, что у здоровых лиц после прекращения нагрузки значения ГПСД ЛЖ значительно увеличиваются по сравнению со значениями ГПСД ЛЖ в покое.

В исследовании М. Leitman, V. Tyomkin и соавт. (2017) оценивались значения ГПСД ЛЖ во время физической нагрузки у пациентов без ишемической болезни сердца (ИБС) [19]. В исследование были включены 46 пациентов без ИБС. Средние значения ГПСД ЛЖ сразу после прекращения нагрузки на тредмиле у этих пациентов составили  $25 \pm 3\%$  ( $p < 0,05$ ). Пиковые значения ГПСД ЛЖ не зависели от значений частоты сердечных

сокращений (ЧСС), артериального давления на высоте нагрузки и массы тела обследуемых. Стоит отметить, что в исследовании M. Leitman, V. Tuomkin и соавт. анализируемая группа состояла из пациентов, имевших артериальную гипертензию, сахарный диабет, гиперлипидемию и указание на отягощенный семейный анамнез по сердечно-сосудистым заболеваниям. Группа исследуемых достигла меньшего уровня физической нагрузки 9,4 METS на тредмиле в исследовании M. Leitman, V. Tuomkin и соавт. по сравнению с 11,3 METS на велоэргометре в исследовании A.H. Larsen, T.S. Clemmensen и соавт. Результаты, полученные в исследовании A.H. Larsen, T.S. Clemmensen и соавт., близки к значениям, полученным в исследовании M. Leitman, V. Tuomkin и соавт. Эти работы предоставляют данные о значениях ГПСД ЛЖ у пациентов без ИБС.

В исследовании A.H. Larsen, T.S. Clemmensen и соавт. наблюдалось заметное увеличение значений ГПСД ЛЖ во время более низких уровней нагрузки — от исходных  $20,1 \pm 1,8$  до  $23 \pm 1,0$  при достижении 25% от пиковой ЧСС,  $24 \pm 1,0$  — при достижении 50% от пиковой ЧСС, тогда как изменение значений ГПСД ЛЖ от субмаксимального до максимального уровня нагрузки было менее значительным:  $25,4 \pm 2,0\%$  при достижении 75% — субмаксимального уровня нагрузки,  $26 \pm 2,0\%$  — при достижении максимального уровня нагрузки. Более выраженный прирост значений ГПСД ЛЖ во время низких уровней нагрузки в исследовании A.H. Larsen, T.S. Clemmensen и соавт. исследователи связывают с менее активным влиянием блуждающего нерва [20]. По мнению A.H. Larsen, T.S. Clemmensen и соавт., низкий прирост значений ГПСД ЛЖ на более высоких ступенях нагрузки может быть связан с более высокими значениями артериального давления и увеличением ЧСС.

Стоит отметить, что в исследованиях с использованием спекл-трекинг стресс-эхокардиографии с введением добутамина в контрольных группах, состоящих из практически здоровых лиц, наблюдались более низкие значения ГПСД ЛЖ, что может быть связано с менее сложным гемодинамическим и нейрогормональным ответом, вызываемым физической нагрузкой [21].

### **Изменение значений продольной систолической деформации ЛЖ в зависимости от возраста**

Одним из факторов риска развития сердечно-сосудистых заболеваний является пожилой возраст [22]. Однако функциональное состояние сердечно-сосудистой системы изменяется не только при появлении каких-либо заболеваний, но и у здоровых лиц по мере старения [23]. Поэтому важно знать, как процесс старения влияет на функциональное состояние сердца. Старение проявляется снижением релаксации ЛЖ и появлением диастолической дисфункции, и эти изменения могут быть причиной снижения значений ГПСД ЛЖ у пожилых людей, однако результаты исследований разнятся [24–26].

В исследовании A.H. Larsen, T.S. Clemmensen и соавт. было включено 67 здоровых лиц в возрасте от 23 до 80 лет. При пиковых нагрузках на велоэргометре показатель ГПСД ЛЖ значимо не различался между группами разного возраста (у лиц <35 лет и >55 лет различие составило  $0,43 \pm 0,46\%$ ,  $p=0,36$ ), что соответствует данным других авторов [3].

### **Оценка значений локальной продольной систолической деформации ЛЖ**

Технология спекл-трекинг позволяет количественно оценить значения локальной продольной систолической деформации ЛЖ (ЛПСД ЛЖ). Оценка значений ЛПСД ЛЖ может давать дополнительную прогностическую информацию, поскольку при некоторых заболеваниях сердца, таких как амилоидоз, на-

блюдается сниженная ЛПСД ЛЖ, преимущественно в базальных сегментах [27].

В исследовании A.H. Larsen, T.S. Clemmensen и соавт. проводилась сегментарная оценка миокарда ЛЖ, которая показала значительно более высокие значения апикальной ЛПСД ЛЖ по сравнению со значениями базальной ЛПСД ЛЖ. В норме в покое сократимость апикальных сегментов миокарда выше, чем сократимость базальных сегментов ЛЖ [25]. Преобладание значений апикальной ЛПСД ЛЖ над значениями базальной ЛПСД ЛЖ в исследовании A.H. Larsen, T.S. Clemmensen и соавт. во время физической нагрузки на велоэргометре стало больше, чем в исходном состоянии, что может свидетельствовать о том, что именно такая механика ЛЖ характерна для нормальной сократительной функции ЛЖ.

### **Сопоставление данных спекл-трекинг стресс-эхокардиографии и КТ-КАГ**

Оценка значений продольной систолической деформации ЛЖ с использованием технологии спекл-трекинг доказала свою эффективность в диагностике и прогнозе течения ИБС у больных с острым коронарным синдромом [28]. Одним из методов оценки состояния коронарного русла является компьютерная томография коронарных артерий (КТ-КАГ). Поскольку спекл-трекинг стресс-эхокардиография является менее затратной технологией, чем КТ-КАГ, она может использоваться у большего количества пациентов. Однако, чтобы говорить о возможности использования спекл-трекинг стресс-эхокардиографии как технологии, сопоставимой с данными КТ-КАГ, необходимо сравнить результаты этих исследований. Одним из исследований, доказывающих эффективность технологии спекл-трекинг стресс-эхокардиографии в оценке деформации миокарда ЛЖ, является исследование M.J. Mansour, W. Al-Jaroudi и соавт. (2018), в котором сопоставлялись результаты стресс-эхокардиографии с использованием технологии спекл-трекинг с результатами КТ-КАГ [29]. В исследование были включены 103 амбулаторных пациента, которым проводилась стресс-эхокардиография с использованием технологии спекл-трекинг в покое и после прекращения нагрузки и КТ-КАГ. По данным этого исследования, пациенты с выявленным на КТ-КАГ гемодинамически значимым стенозированием коронарных артерий имели более низкие значения ГПСД ЛЖ в покое по сравнению с пациентами, у которых не было найдено гемодинамически значимого стенозирования коронарных артерий, по данным КТ-КАГ ( $14,85 \pm 3,05$  по сравнению с  $17,99 \pm 2,88$ ;  $p=0,001$ ). У пациентов с гемодинамически значимым стенозированием коронарных артерий, по данным КТ-КАГ, значения ГПСД ЛЖ после прекращения нагрузки также были ниже, чем у пациентов, у которых не было выявлено гемодинамически значимого стенозирования, по данным КТ-КАГ ( $14,89 \pm 3,35\%$  по сравнению с  $18,44 \pm 4,27\%$ ,  $p=0,007$ ). У всех пациентов со значениями ГПСД ЛЖ, равными или более 20%, результаты КТ-КАГ были нормальными или было выявлено гемодинамически незначимое стенозирование коронарных артерий. M.J. Mansour, W. Al-Jaroudi и соавт. отметили, что пациенты с множественными сопутствующими заболеваниями (цереброваскулярные болезни, сахарный диабет, артериальная гипертензия) и факторами риска (курение и дислипидемия) также имели сниженные значения ГПСД ЛЖ в покое и после прекращения нагрузки, что указывало на вызванную этими заболеваниями и факторами риска субклиническую дисфункцию ЛЖ. В исследовании M.J. Mansour, W. Al-Jaroudi и соавт. наличие одного и более факторов риска приводило к снижению значений ГПСД ЛЖ.

Основным выводом этого исследования является то, что в случае получения пикового значения ГПСД ЛЖ, равного или

более 20%, можно исключить возможность выявления гемодинамически значимого стенозирования коронарных артерий, по данным КТ-КАГ. Стоит также учитывать, что есть факторы, ограничивающие адекватную оценку значений ГПСД ЛЖ, в числе которых основным является сниженная акустическая доступность сердца [3]. При интерпретации результатов КТ-КАГ также есть факторы, ограничивающие адекватную оценку, поскольку возможно появление артефактов [30]. Очевидно, что КТ-КАГ уступает коронарографии, являющейся «золотым стандартом» оценки состояния коронарного русла [31].

### **Сопоставление данных спекл-трекинг стресс-эхокардиографии и КАГ**

Показатели продольной систолической деформации миокарда ЛЖ потенциально могут быть наиболее чувствительны в диагностике преходящей ишемии миокарда, поскольку продольные мышечные волокна расположены субэндокардиально. В связи с этим различными исследователями неоднократно проводилась оценка показателей продольной деформации ЛЖ во время стресс-эхокардиографии [32–35].

В исследовании А.С. Nq, М. Sitges и соавт. (2009) показатели продольной деформации миокарда ЛЖ были не только более диагностически значимы по сравнению с показателями циркулярной и радиальной деформации, но и по диагностической точности оказались сопоставимы с визуальной оценкой движения стенок квалифицированным специалистом [32].

Y. Yu, H.R. Villarraga и соавт. (2013) показали, что у больных с трехсосудистым поражением коронарных артерий значения ГПСД ЛЖ снижались уже на первых ступенях стресс-эхокардиографии с введением добутамина до появления видимых нарушений движения стенок ЛЖ [33].

Иной подход был использован в исследовании С. Aggeli, S. Lagoudakou и соавт. (2015). Этими авторами была проанализирована возможность оценки как абсолютных значений ГПСД ЛЖ, так и изменений этого показателя во время стресс-эхокардиографии с добутамином для выявления значений деформации ЛЖ и сопоставления полученных результатов с данными КАГ у 100 пациентов с подозрением на ИБС без инфаркта миокарда в анамнезе [34]. В покое значения ГПСД ЛЖ у пациентов с поражением коронарных артерий были сопоставимы со значениями ГПСД ЛЖ у пациентов без поражения коронарных артерий ( $21,16 \pm 3,32$  по сравнению с  $21,59 \pm 2,33$  соответственно;  $p=0,46$ ). На высоте нагрузки у пациентов с поражением коронарных артерий наблюдалось снижение значений ГПСД ЛЖ, в то время как у пациентов без поражения коронарных артерий значения ГПСД ЛЖ увеличились ( $18,95 \pm 4,34$  по сравнению с  $23,16 \pm 3,30$  соответственно;  $p < 0,001$ ). Отсутствие прироста значений ГПСД ЛЖ при введении добутамина показало чувствительность 81% и специфичность 72% в выявлении наличия поражений коронарных артерий.

Ранее в исследованиях с использованием доплеровской визуализации тканей для расчета показателей деформации миокарда ЛЖ у пациентов с гемодинамически значимым стенозированием коронарных артерий и не имевших нарушений локальной сократимости были получены данные о статистически значимо меньших значениях показателей локальной продольной деформации ЛЖ как в покое, так и при нагрузочном тесте [35].

Таким образом, в ряде исследований показано, что у пациентов с подозрением на ИБС, но без инфаркта миокарда в анамнезе при стресс-эхокардиографии с введением добутамина возможна количественная оценка с использованием показателей глобальной и локальной деформации ЛЖ.

### **Спекл-трекинг стресс-эхокардиография в оценке клапанных пороков сердца**

Стресс-эхокардиография с использованием технологии спекл-трекинг также применяется в оценке систолической функции ЛЖ у пациентов с клапанными пороками сердца [36]. При исследовании пациентов с выраженными клапанными пороками сердца целью стресс-эхокардиографического исследования является выявление пациентов, нуждающихся в хирургическом вмешательстве, а именно симптомных пациентов и больных с систолической дисфункцией ЛЖ [37]. Несмотря на то что оценка состояния миокарда ЛЖ посредством стресс-эхокардиографии при митральной регургитации пока имеет небольшую доказательную базу, результаты стресс-эхокардиографии являются информативными у пациентов с клиникой и по меньшей мере умеренно выраженной митральной регургитацией [38]. Снижение фракции выброса (ФВ), сократительного резерва ЛЖ и появление симптомов во время стресс-эхокардиографии (прирост значений ФВ  $< 5\%$  или прирост значений ГПСД ЛЖ  $< 2\%$ ) являются предикторами послеоперационной систолической дисфункции ЛЖ у пациентов после хирургического лечения митральных пороков [39–42].

У больных с аортальной недостаточностью предиктором развития систолической дисфункции ЛЖ после хирургического вмешательства также является отсутствие прироста сократительного резерва [21].

В исследовании И.И. Авериной, О.Л. Бокерия и соавт. (2018) оценивались результаты спекл-трекинг стресс-эхокардиографии у пациентов с аортальной и митральной недостаточностью до операции по протезированию клапанов, через две недели и через 6–12 мес. после операции [43]. Пациенты были разделены на две группы: с ожидаемым благоприятным прогнозом и прогнозируемым развитием сердечной недостаточности в послеоперационном периоде. На основании Roc-анализа «очень хорошее» качество модели было получено для 4 показателей, по которым можно прогнозировать развитие сердечной недостаточности в послеоперационном периоде: ФВ ЛЖ в покое и после прекращения нагрузки, ГПСД ЛЖ в покое, ГПСД левого предсердия в покое. Наряду с этим авторы отметили «хорошее» качество модели для конечного диастолического и систолического объемов в покое и при стресс-эхокардиографии, средней ГПСД ЛЖ в покое и при стресс-эхокардиографии, глобальной продольной скорости деформации в покое, средней глобальной циркулярной деформации ЛЖ в покое и при стресс-эхокардиографии, контрактильного резерва по ФВ.

При оценке значений продольной систолической деформации миокарда ЛЖ в покое и при проведении стресс-эхокардиографии у пациентов с клапанными пороками сердца могут быть выявлены ранние признаки послеоперационной систолической дисфункции ЛЖ [40]. Эти данные подтверждаются в исследовании И.И. Авериной, О.Л. Бокерия и соавт.

### **Спекл-трекинг стресс-эхокардиография в оценке состояния миокарда у пациентов с сахарным диабетом**

Сахарный диабет не только является серьезным фактором риска развития сердечно-сосудистых заболеваний, влияющих на функцию ЛЖ, но и в ряде случаев затрудняет диагностику преходящей ишемии миокарда из-за безболевых форм. В большинстве исследований, в которых оценивались результаты спекл-трекинг стресс-эхокардиографии у пациентов с сахарным диабетом 2-го типа, анализировалась продольная систолическая деформация [44, 45].

В связи с этим интерес представляет исследование С. Philouze, P. Obert и соавт. (2018), в которое были включены пациенты с неосложненным сахарным диабетом 2-го типа. Его целью являлась всесторонняя оценка функции миокарда в состоянии покоя и исследование того, может ли фармакологическая спекл-трекинг стресс-эхокардиография с использованием добутина выявить функциональные изменения, которые не были выявлены в покое [46]. В исследование были включены 44 пациента с сахарным диабетом 2-го типа и контрольная группа из 35 здоровых лиц аналогичного возраста и пола. Механику миокарда оценивали в состоянии покоя и при стресс-эхокардиографии с введением добутина до целевой ЧСС 110 уд./мин. Исследование выявило, что значения деформации были сходными между группами в состоянии покоя ( $20,2 \pm 2,7$  — у пациентов с сахарным диабетом 2-го типа,  $20,8 \pm 2,3$  — в контрольной группе,  $p=0,004$ ). Однако после введения добутина были отмечены значительные различия между группами пациентов с сахарным диабетом и контрольной группой: увеличение значений ГПСД ЛЖ ( $21,2 \pm 2,4\%$  и  $24,2 \pm 2,5\%$  соответственно,  $p=0,004$ ), циркулярной систолической деформации ЛЖ в апикальных сегментах ( $32,3 \pm 5,3\%$  и  $36,3 \pm 5,3\%$  соответственно,  $p<0,001$ ) и на уровне папиллярных мышц ( $25,6 \pm 3,2\%$  и  $28,0 \pm 3,6\%$  соответственно,  $p=0,01$ ).

При отсутствии стенозов коронарных артерий и гипертонической болезни у пациентов с сахарным диабетом 2-го типа обычно присутствуют изменения глобальной диастолической функции, но сохраняется глобальная систолическая функция [47, 48]. Результаты, полученные С. Philouze, P. Obert и соавт., демонстрируют значимость спекл-трекинг стресс-эхокардиографии с введением добутина у пациентов с неосложненным сахарным диабетом 2-го типа, поскольку при исследовании в покое показатели ГПСД ЛЖ у этих пациентов были сходны, а при проведении нагрузочного теста значения ГПСД ЛЖ и циркулярной деформации ЛЖ были меньше, чем в контрольной группе.

В нескольких исследованиях, проведенных ранее, описывалось, что одним из факторов, снижающих ответ на введение добутина у пациентов с сахарным диабетом, помимо метаболических нарушений, является эпикардиальная жировая ткань [49, 50]. В исследовании С. Philouze, P. Obert и соавт. также было выявлено, что вследствие близкого расположения эпикардиального жира к миокарду и его избыточного количества он может влиять на функцию кардиомиоцитов и являться источником провоспалительных цитокинов, что может оказывать негативное воздействие на кардиомиоциты и стенки коронарных сосудов [51]. Ранее влияние эпикардиального жира на функцию миокарда ЛЖ в ответ на стресс-эхокардиографию с введением добутина у пациентов с сахарным диабетом 2-го типа не изучалось.

### **Спекл-трекинг стресс-эхокардиография в оценке микрососудистого поражения**

Измерение параметров глобальной продольной деформации ЛЖ дает возможность определить дисфункцию ЛЖ на ранних стадиях, что позволяет получить дополнительную прогностическую информацию тогда, когда показатель ФВ имеет нормальные значения [3]. Глобальный резерв продольной деформации, измеряемый во время спекл-трекинг стресс-эхокардиографии с введением дипиридамола, является новым параметром, который дает возможность оценить сократительный резерв ЛЖ. Измерение этого показателя было предложено в рекомендациях по клиническому применению стресс-эхокардиографии [21, 52].

В исследовании М.М. Michelsen, А. Pena и соавт. (2018) производилась оценка возможностей диагностики микро-

сосудистого поражения коронарных артерий в состоянии покоя и во время стресс-эхокардиографии с введением дипиридамола [53]. В исследование были включены 963 женщины со стенокардией, ФВ ЛЖ  $>45\%$  и без гемодинамически значимого стенозирования коронарных артерий, по данным КАГ. Оценивались параметры ФВ ЛЖ, ГПСД ЛЖ и резерв скорости коронарного кровотока. Резерв ГПСД ЛЖ и резерв ФВ ЛЖ определялись как увеличение значений этих показателей во время стресс-эхокардиографии по сравнению со значениями в исходном состоянии. Скорость коронарного кровотока оценивалась с помощью доплер-эхокардиографии передней нисходящей артерии в покое и во время фармакологического стресс-теста с введением дипиридамола в течение 6 мин. Резерв скорости коронарного кровотока рассчитывался как соотношение между пиковой диастолической скоростью коронарного кровотока во время стресс-теста и в покое. Резерв скорости коронарного кровотока был измерен у 919 женщин, из которых 241 (26%) имели микрососудистое поражение коронарных артерий (наличие микрососудистого поражения коронарных артерий определялось как снижение резерва скорости коронарного кровотока  $<2$ ); 318 (35%) женщин имели значения резерва скорости коронарного кровотока от 2 до 2,5; у 360 (39%) женщин резерв скорости коронарного кровотока был  $>2,5$ . Средние значения ГПСД ЛЖ в покое составили  $21,2 \pm 2,8$  у женщин с резервом скорости коронарного кровотока  $<2$ ;  $21,5 \pm 2,6$  — у женщин с резервом скорости коронарного кровотока от 2 до 2,5;  $21,3 \pm 2,7$  — у женщин с резервом скорости коронарного кровотока  $>2,5$  ( $p=0,91$ ). У всех женщин значения ГПСД ЛЖ во время спекл-трекинг стресс-эхокардиографии возросли по сравнению со значениями в покое. На пике нагрузки они составили  $23,1 \pm 3,0$  у женщин с резервом скорости коронарного кровотока  $<2$ ;  $23,3 \pm 2,6$  — у женщин с резервом скорости коронарного кровотока от 2 до 2,5;  $23,6 \pm 2,7$  — у женщин с резервом скорости коронарного кровотока  $>2,5$  ( $p=0,04$ ). Женщины с микрососудистым поражением коронарных артерий имели более низкие значения резерва ГПСД ЛЖ, чем женщины с резервом скорости коронарного кровотока  $>2,5$  ( $1,77 \pm 2,28$  и  $2,37 \pm 2,57$  соответственно,  $p=0,005$ ), тогда как связи между значениями резерва скорости коронарного кровотока и ФВ ЛЖ в состоянии покоя, значениями ГПСД ЛЖ в состоянии покоя и резервом ФВ ЛЖ обнаружено не было. Наличие микрососудистого поражения коронарных артерий в этом исследовании было ассоциировано с более старшей возрастной категорией и более высокой ЧСС.

Патофизиологически микрососудистое поражение коронарных артерий может способствовать возникновению небольшой сократительной дисфункции миокарда, которая может быть выявлена с помощью спекл-трекинг стресс-эхокардиографии с введением дипиридамола. Это объясняет корреляцию значений ГПСД ЛЖ с данными резерва скорости коронарного кровотока, поскольку параметр ГПСД ЛЖ является наиболее чувствительным к субэндокардиальной ишемии миокарда. Однако проведено небольшое количество исследований по оценке диагностической значимости значений ГПСД ЛЖ в оценке микрососудистого поражения коронарных артерий. Основным выводом данного исследования стало то, что у женщин со стенокардией и без обструктивного поражения коронарных артерий резерв ГПСД ЛЖ был ниже при наличии у них микрососудистого поражения коронарных артерий.

Перспективным является анализ продольной и циркулярной деформации с оценкой каждого слоя ЛЖ с помощью спекл-трекинг эхокардиографии. Учитывая сложную архитектуру ЛЖ и типичную патофизиологию ишемического повреждения (от эндокарда к эпикарду), параметр эндокардиальной

ГПСД ЛЖ может быть более чувствителен в обнаружении тонкой дисфункции ЛЖ, чем параметр трансмуральной ГПСД ЛЖ. Более того, анализ каждого слоя ЛЖ может быть эффективен в оценке изменений при микрососудистом поражении коронарных артерий. В исследовании G.E. Mandoli, M. Cameli и соавт. (2018) определялось диагностическое значение данных глобальной продольной и глобальной циркулярной деформации ЛЖ в обнаружении микрососудистого поражения коронарных артерий во время спекл-трекинг стресс-эхокардиографии с введением дипиридамола [54]. В исследование были включены 66 пациентов с диагностированным и подозреваемым микрососудистым поражением коронарных артерий. Пациенты были разделены на 3 группы по результатам стресс-эхокардиографии (36 — отрицательных, 19 — положительных, 11 — с признаками микрососудистого поражения коронарных артерий). Значения эндокардиальной ГПСД ЛЖ увеличились на пике нагрузки в группе пациентов с отрицательным результатом стресс-эхокардиографии ( $20,6 \pm 4,3$  в покое,  $p=0,74$ , в сравнении с  $23,5 \pm 4,4$  на пике нагрузки,  $p<0,0001$ ) и у пациентов с признаками микрососудистого поражения коронарных артерий ( $20,9 \pm 2,4$  в покое в сравнении с  $23,4 \pm 1,4$  на пике нагрузки), а у пациентов с положительным результатом пробы снизились ( $20,3 \pm 2,5$  в покое в сравнении с  $17,5 \pm 2,0$  на пике нагрузки). У пациентов с положительным результатом стресс-эхокардиографии значения трансмуральной ГПСД ЛЖ на пике нагрузки также снизились ( $16,9 \pm 2,1$  в сравнении с  $15,2 \pm 1,7$ ,  $p=0,001$ ), однако менее значимо, чем значения эндокардиальной ГПСД ЛЖ. Значения эндокардиальной глобальной циркулярной деформации ЛЖ и трансмуральной глобальной циркулярной деформации ЛЖ значительно увеличивались у пациентов с отрицательным результатом стресс-эхокардиографии ( $15,8 \pm 5,8$  в покое,  $p=0,56$ , в сравнении с  $19,4 \pm 8,3$  на пике нагрузки,  $p=0,01$ ;  $24,7 \pm 6,6$  в покое,  $p=0,65$ ,

в сравнении с  $27,3 \pm 10,7$  на пике нагрузки,  $p=0,01$ ), а у пациентов с признаками микрососудистого поражения коронарных артерий данные показатели были практически неизменны ( $14,4 \pm 9,5$  в покое в сравнении с  $16,2 \pm 7,1$  на пике нагрузки;  $22,1 \pm 7,4$  в покое в сравнении с  $22,4 \pm 1,6$  на пике нагрузки). Основными выводами исследования являются данные о возможной диагностической значимости параметра глобальной циркулярной деформации ЛЖ в эхокардиографической диагностике микрососудистого поражения и значений эндокардиальной ГПСД ЛЖ в диагностике макрососудистого поражения коронарных артерий.

### Заключение

Технология спекл-трекинг стресс-эхокардиографии потенциально может быть прогностически значимой в оценке функции миокарда при различных заболеваниях сердечно-сосудистой системы, а также при некардиогенных заболеваниях. Большое количество опубликованных исследований обеспечивают доказательную базу для потенциального применения этой технологии в различных клинических ситуациях [10–15]. Однако технология спекл-трекинг при стресс-эхокардиографии до сих пор не рекомендована для рутинного применения у большинства пациентов. Возможно, после того как будет достигнута единая система оценки значений деформации между ультразвуковыми системами разных производителей, а также будет точно установлена диагностическая значимость различных параметров деформации и их воспроизводимость при различных заболеваниях, технология спекл-трекинг эхокардиографии и стресс-эхокардиографии будет играть важную роль в определении дисфункции ЛЖ и незначительных степеней субэндокардиальной ишемии, которая не может быть выявлена при визуальной оценке движения стенки.

### Литература / References

1. Tops L.F., Delgado V., Marsan N.A., Bax J.J. Myocardial strain to detect subtle left ventricular systolic dysfunction. *Eur. J. Heart Fail.* 2017 Mar.;19(3):307–313. DOI: 10.1002/ehfj.694.
2. Kalam K., Otahal P., Marwick T.H. Prognostic implications of global LV dysfunction: a systematic review and meta-analysis of global longitudinal strain and ejection fraction. *Heart.* 2014;100:1673–1680. DOI: 10.1136/heartjnl-2014-305538.
3. Lang R.M., Badano L.P., Mor-Avi V., Afzalpoor A., Armstrong A., Ernande L., 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. *J. Am. Soc. Echocardiogr.* 2015;28:1–39. DOI: 10.1016/j.echo.2014.10.003.
4. Doucende G., Schuster I., Rupp T., Startun A., Dauzat M., Obert P., et al. Kinetics of left ventricular strains and torsion during incremental exercise in healthy subjects. *Circ. Cardiovasc. Imaging.* 2010;3:586–594. DOI: 10.1161/CIRCIMAGING.110.943522.
5. Dandel M., Hetzer R. Echocardiographic strain and strain rate imaging — clinical applications. *Int. J. Cardiol.* 2009;132:11–24. DOI: 10.1016/j.ijcard.2008.06.091.
6. Dandel M., Lehmkühl H., Knosalla C., Suramelashvili N., Hetzer R. Strain and Strain Rate Imaging by Echocardiography — Basic Concepts and Clinical Applicability. *Current Cardiology Reviews.* 2009;5:133–148. DOI: 10.2174/157340309788166642.
7. Choi E.Y., Rosen B.D., Fernandes V.R., Yan R.T., Yoneyama K., Donekal S., et al. Prognostic value of myocardial circumferential strain for incident heart failure and cardiovascular events in asymptomatic individuals: the Multi-Ethnic Study of Atherosclerosis. *Eur. Heart J.* 2013 Aug.;34(30):2354–2361. DOI: 10.1093/eurheartj/ehs133.
8. Nishimura K., Okayama H., Inoue K., Saito M., Yoshii T., Hiasa G., et al. Direct measurement of radial strain in the inner-half layer of the left ventricular wall in hypertensive patients. *J. Cardiol.* 2012 Jan.;59(1):64–71. DOI: 10.1016/j.jjcc.2011.08.003.
9. Tanabe M., Lamia B., Tanaka H., Schwartzman D., Pinsky M.R., Gorcsan J. Echocardiographic speckle tracking radial strain imaging to assess ventricular dyssynchrony in a pacing model of resynchronization therapy. *J. Am. Soc. Echocardiogr.* 2008;21(12):1382–1388.
10. Yang L.T., Kado Y., Nagata Y., Otani K., Otsuji Y., Takeuchi M. Strain imaging with a bull's-eye map for detecting significant coronary stenosis during dobutamine stress echocardiography. *J. Am. Soc. Echocardiogr.* 2017;30:159–167. DOI: 10.1016/j.echo.2016.10.011.
11. Ejlertsen J.A., Poulsen S.H., Mortensen J., May O. A comparison of the diagnostic value of 2D strain stress echocardiography, myocardial perfusion scintigraphy, and Duke treadmill score in patients suspected of coronary artery disease. *Echocardiography.* 2016;33:1523–1531.
12. Li Z., Li Y., Zhang L., Zhang X., Sullivan R., Ai X., et al. Reduced myocardial reserve in young X-linked muscular dystrophy mice diagnosed by two-dimensional strain analysis combined with stress echocardiography. *J. Am. Soc. Echocardiogr.* 2017;30:815–827.e9. DOI: 10.1016/j.echo.2017.03.009.
13. Caniggia C., Amor M., Lowenstein Haber D., Alasia D., Galello M., Darú V., et al. Feasibility and value of global and regional 2D strain during exercise stress echocardiography. *Rev. Argent Cardiol.* 2014;82:102–108.
14. Yang L.T., Kado Y., Nagata Y., Otani K., Otsuji Y., Takeuchi M. Strain imaging with a bull's-eye map for detecting significant coronary stenosis during dobutamine stress echocardiography. *J. Am. Soc. Echocardiogr.* 2017;30:159–167.e1.
15. Banerjee A., Newman D.R., Van den Bruel A., Heneghan C. Diagnostic accuracy of exercise stress testing for coronary artery disease: a systematic review and meta-analysis of prospective studies. *Int. J. Clin. Pract.* 2012 May;66(5):477–492. DOI: 10.1111/j.1742-1241.2012.02900.x.
16. Hensel K.O., Abellan Schneyder F.E., Wilke L., Heusch A., Wirth S., Jenke A.C. Speckle Tracking Stress Echocardiography Uncovers Early Subclinical Cardiac Involvement in Pediatric Patients with Inflammatory Bowel Diseases. *Sci. Rep.* 2017;7(1):2966. Published 2017 Jun. 7. DOI: 10.1038/s41598-017-03255-1.

17. Reant P., Labrousse L., Lafitte S., Bordachar P., Pillois X., Tariosse L., et al. Experimental validation of circumferential, longitudinal, and radial 2-dimensional strain during dobutamine stress echocardiography in ischemic conditions. *J. Am. Coll. Cardiol.* 2008;51:149–157.
18. Larsen A.H., Clemmensen T.S., Wiggers H., Poulsen S.H. Left Ventricular Myocardial Contractile Reserve during Exercise Stress in Healthy Adults: A Two-Dimensional Speckle-Tracking Echocardiographic Study. *J. Am. Soc. Echocardiogr.* 2018;31(10):1116–1126. DOI: 10.1016/j.echo.2018.06.010.
19. Leitman M., Tyomkin V., Peleg E., Zyssman I., Rosenblatt S., Sucher E., et al. Speckle tracking imaging in normal stress echocardiography. *J. Ultrasound Med.* 2017;36:717–724. DOI: 10.7863/ultra.16.04010.
20. Laughli M.H. Cardiovascular response to exercise. *Am. J. Physiol.* 1999;277:244–259.
21. Lancellotti P., Pellikka P.A., Budts W., Chaudhry F.A., Donal E., Dulgheru R., et al. The clinical use of stress echocardiography in non-ischaemic heart disease: recommendations from the European Association of Cardiovascular Imaging and the American Society of Echocardiography. *J. Am. Soc. Echocardiogr.* 2017;30:101–138. DOI: 10.1093/ehjci/jew190.
22. Wolsk E., Bakkestrom R., Thomsen J.H., Balling L., Andersen M.J., Dahl J.S., et al. The influence of age on hemodynamic parameters during rest and exercise in healthy individuals. *JACC Heart Fail.* 2017;5:337–346. DOI: 10.1016/j.jchf.2016.10.012.
23. Zghal F., Bougteb H., Réant P., Lafitte S., Roudaut R. Assessing global and regional left ventricular myocardial function in elderly patients using the bidimensional strain method. *Echocardiography.* 2011;28:978–982. DOI: 10.1111/j.1540-8175.2011.01476.x.
24. Carrick-Ranson G., Hastings J.L., Bhella P.S., Shibata S., Fujimoto N., Palmer M.D., et al. Effect of healthy aging on left ventricular relaxation and diastolic suction. *Am. J. Physiol. Heart Circ. Physiol.* 2012;303(3):315–322. DOI: 10.1152/ajpheart.00142.2012.
25. Kocabay G., Muraru D., Peluso D., Cucchini U., Mihaila S., Padayattil-Jose S., et al. Normal left ventricular mechanics by two-dimensional speckle tracking echocardiography. *Rev. Esp. Cardiol.* 2014;67:651–658. DOI: 10.1016/j.rec.2013.12.009.
26. Kuznetsova T., Herbots L., Richart T., D'Hooge J., Thijs L., Fagard R.H., et al. Left ventricular strain and strain rate in a general population. *Eur. Heart J.* 2008;29:2014–2023. DOI: 10.1093/eurheartj/ehn280.
27. Koyama J., Falk R.H. Prognostic significance of strain Doppler imaging in light-chain amyloidosis. *JACC Cardiovasc. Imaging.* 2010;3:333–342. DOI: 10.1016/j.jcmg.2009.11.013.
28. Grenne B., Eek C., Sjøli B., Dahlslett T., Uchto M., Hol P.K., et al. Acute coronary occlusion in non-ST-segment elevation acute coronary syndrome: outcome and early identification by strain echocardiography. *Heart.* 2010;96:1550–1556. DOI: 10.1136/hrt.2009.188391.
29. Mansour M.J., Al-Jaroudi W., Hamoui O., Chaaban S., Chammas E. Multimodality imaging for evaluation of chest pain using strain analysis at rest and peak exercise. *Echocardiography.* 2018 Aug.;35(8):1157–1163. DOI: 10.1111/echo.13885.
30. Kalisz K., Buethe J., Saboo S.S., Abbara S., Halliburton S., Rajiah P. Artifacts at Cardiac CT: Physics and Solutions. *Radiographics.* 2016 Nov-Dec.;36(7):2064–2083.
31. Task Force Members, Montalescot G., Sechtem U., Achenbach S., Andreotti F., Arden C., Budaj A., 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. DOI: 10.1093/eurheartj/ehz296.
32. Ng A.C., Sitges M., Pham P.N., da Tran T., Delgado V., Bertini M., et al. Incremental value of 2-dimensional speckle tracking strain imaging to wall motion analysis for detection of coronary artery disease in patients undergoing dobutamine stress echocardiography. *Am. Heart J.* 2009;158:836–844.
33. Yu Y., Villarraga H.R., Saleh H.K., Cha S.S., Pellikka P.A. Can ischemia and dyssynchrony be detected during early stages of dobutamine stress echocardiography by 2-dimensional speckle tracking echocardiography? *Int. J. Cardiovasc. Imaging.* 2013;29:95–102.
34. Aggeli C., Lagoudakou S., Felekos I., Panagopoulou V., Kastellanos S., Toutouzias K., et al. Two-dimensional speckle tracking for the assessment of coronary artery disease during dobutamine stress echo: clinical tool or merely research method. *Cardiovasc. Ultrasound.* 2015;13:43. DOI: 10.1186/s12947-015-0038-z.
35. Павлюкова Е.Н., Егорова В.Ю. Анализ деформации миокарда в режиме Strain и Strain Rate при стресс-эхокардиографии с добутамином в зависимости от степени стеноза коронарных артерий. *Сибирский медицинский журнал.* 2008;6:7–11. [Pavlyukova E.N., Yegorova V.Yu. Analysis of myocardial deformation in the Strain and Strain Rate regimens during stress-echocardiography in dependence on coronary artery stenosis grade. *The Siberian Medical Journal.* 2008;8:7–11 (In Russ.)].
36. Lee R., Haluska B., Leung D.Y., Case C., Mundy J., Marwick T.H. Functional and prognostic implications of left ventricular contractile reserve in patients with asymptomatic severe mitral regurgitation. *Heart.* 2005;91:1407–1412.
37. Pierard L.A., Lancellotti P. Stress testing in valve disease. *Heart.* 2007;93:766–772.
38. Magne J., Lancellotti P., Pierard L.A. Exercise-induced changes in degenerative mitral regurgitation. *J. Am. Coll. Cardiol.* 2010;56:300–309.
39. Magne J., Mahjoub H., Dulgheru R., Pibarot P., Pierard L.A., Lancellotti P. Left ventricular contractile reserve in asymptomatic primary mitral regurgitation. *Eur. Heart J.* 2014;35:1608–1616. DOI: 10.1093/eurheartj/ehz345.
40. Donal E., Mascle S., Brunet A., Thebault C., Corbineau H., Laurent M., et al. Prediction of left ventricular ejection fraction 6 months after surgical correction of organic mitral regurgitation: the value of exercise echocardiography and deformation imaging. *Eur. Heart J. Cardiovasc. Imaging.* 2012;13:922–930.
41. Lancellotti P., Cosyns B., Zacharakis D., Attena E., Van Camp G., Gach O., 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;21:1331–1336. DOI: 10.1016/j.echo.2008.09.023.
42. Paraskevidis I.A., Kyrzopoulos S., Tsiapras D., Iliodromitis E.K., Parisisis J., Farmakis D., et al. The role of left ventricular long-axis contraction in patients with asymptomatic non-ischemic mitral valve regurgitation and normal systolic function. *Int. J. Cardiol.* 2008;124:64–71.
43. Аверина И.И., Бокерия О.Л., Мироненко М.Ю. Определение критериев миокардиального резерва и их прогностические возможности у пациентов с пороками сердца по данным стресс-эхокардиографии и стресс-2D-speckle tracking (ST). Российский Национальный Конгресс Кардиологов 2018, сборник тезисов, 538. [Averina I.I., Bockeria O.L., Mironenko M.Yu. Determination of criteria of myocardial reserve and their prognostic opportunities in patients with heart diseases according to stress-echocardiography and stress-2D-speckle tracking (ST). Russian National Congress of Cardiology 2018, abstracts collection, 538 (In Russ.)].
44. Liu J.H., Chen Y., Yuen M., Zhen Z., Chan C.W., Lam K.S., et al. Incremental prognostic value of global longitudinal strain in patients with type 2 diabetes mellitus. *Cardiovasc. Diabetol.* 2016;15:22. Published 2016 Feb. 3. DOI: 10.1186/s12933-016-0333-5.
45. Wierzbowska-Drabik K., Trzos E., Kurpesa M., Rechcinski T., Miskowicz D., Cieslik-Guerra U., et al. Diabetes as an independent predictor of left ventricular longitudinal strain reduction at rest and during dobutamine stress test in patients with significant coronary artery disease. *Eur. Heart J. Cardiovasc. Imaging.* 2018 Nov. 1;19(11):1276–1286. DOI: 10.1093/ehjci/jex315.
46. Philouze C., Obert P., Nottin S., Benamor A., Barthez O., Aboukhoudir F. Dobutamine Stress Echocardiography Unmasks Early Left Ventricular Dysfunction in Asymptomatic Patients with Uncomplicated Type 2 Diabetes: A Comprehensive Two-Dimensional Speckle-Tracking Imaging Study. *J. Am. Soc. Echocardiogr.* 2018 May;31(5):587–597. DOI: 10.1016/j.echo.2017.12.006.
47. Ng A.C., Delgado V., Bertini M., van der Meer R.W., Rijzewijk L.J., Shanks M., Nucifora G., et al. Findings from left ventricular strain and strain rate imaging in asymptomatic patients with type 2 diabetes mellitus. *Am. J. Cardiol.* 2009;104:1398–1401. DOI: 10.1016/j.amjcard.2009.06.063.
48. Tadic M., Ilic S., Cuspidi C., Stojcevski B., Ivanovic B., Bukarica L., et al. Left ventricular mechanics in untreated normotensive patients with type 2 diabetes mellitus: a two- and three-dimensional speckle tracking study. *Echocardiography.* 2015;32:947–955. DOI: 10.1111/echo.12790.
49. Serrano-Ferrer J., Crendal E., Walther G., Vinet A., Dutheil F., Naughton G., et al. Effects of lifestyle intervention on left ventricular regional myocardial function in metabolic syndrome patients from the RESOLVE randomized trial. *Metabolism.* 2016;65:1350–1360. DOI: 10.1016/j.metabol.2016.05.006.

50. Iacobellis G., Bianco A.C. Epicardial adipose tissue: emerging physiological, pathophysiological and clinical features. *Trends Endocrinol. Metab.* 2011;22:450–457. DOI: 10.1016/j.tem.2011.07.003.
51. Ouwens D.M., Sell H., Greulich S., Eckel J. The role of epicardial and perivascular adipose tissue in the pathophysiology of cardiovascular disease. *J. Cell Mol. Med.* 2010;14:2223–2234. DOI: 10.1111/j.1582-4934.2010.01141.x.
52. Cognet T., Vervueren P.-L., Dercle L., Bastié D., Richaud R., Berry M., et al. New concept of myocardial longitudinal strain reserve assessed by a dipyridamole infusion using 2D-strain echocardiography: the impact of diabetes and age, and the prognostic value. *Cardiovasc. Diabetol.* 2013;12:84. DOI: 10.1186/1475-2840-12-84.
53. Michelsen M.M., Pena A., Mygind N.D. Coronary microvascular dysfunction and myocardial contractile reserve in women with angina and no obstructive coronary artery disease. *Echocardiography.* 2018;35(2):196–203. DOI: 10.1111/echo.13767.
54. Mandoli G.E., Cameli M., Minardi S., Crudele F., Lunghetti S., Mondillo S. Layer-specific strain in dipyridamole stress echo: A new tool for the diagnosis of microvascular angina. *Echocardiography.* 2018 Dec.;35(12):2005–2013. DOI: 10.1111/echo.14180.

#### Сведения об авторах

**Степанова Анна Игоревна\***, клинический аспирант кафедры кардиологии, терапии и функциональной диагностики с курсом нефрологии, Центральная государственная медицинская академия Управления делами Президента Российской Федерации.

E-mail: [fr.anya.dz@gmail.com](mailto:fr.anya.dz@gmail.com).

**Алехин Михаил Николаевич**, д-р мед. наук, профессор кафедры кардиологии, терапии и функциональной диагностики с курсом нефрологии, Центральная государственная медицинская академия Управления делами Президента Российской Федерации; заведующий отделением функциональной диагностики, Центральная клиническая больница с поликлиникой Управления делами Президента Российской Федерации.

E-mail: [mike.nikolaich@yandex.ru](mailto:mike.nikolaich@yandex.ru).

#### Information about the authors

**Anna I. Stepanova\***, Postgraduate Student of the Department of Cardiology, Therapy and Functional Diagnostics with Nephrology Course, Central State Medical Academy of the Administrative Department of the President of the Russian Federation.

E-mail: [fr.anya.dz@gmail.com](mailto:fr.anya.dz@gmail.com).

**Mikhail N. Alekhin**, Dr. Sci. (Med.), Professor of the Department of Cardiology, Therapy and Functional Diagnostics with Nephrology Course, Central State Medical Academy of the Administrative Department of the President of the Russian Federation; Head of Functional Diagnostics Department, Central Clinical Hospital of the Presidential Administration of the Russian Federation.

E-mail: [mike.nikolaich@yandex.ru](mailto:mike.nikolaich@yandex.ru).

Поступила 16.12.2018, принята к печати 11.03.2019  
Received December 16, 2018, accepted for publication March 11, 2019