

## УЛЬТРАЗВУКОВАЯ ВИЗУАЛИЗАЦИЯ РЕМОДЕЛИРОВАНИЯ ЛЕВОГО ЖЕЛУДОЧКА ПРИ ХРОНИЧЕСКОЙ СЕРДЕЧНОЙ НЕДОСТАТОЧНОСТИ С СОХРАНЕННОЙ ФРАКЦИЕЙ ВЫБРОСА

ЖЕРКО О.М.<sup>1</sup>, ШКРЕБНЕВА Э.И.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Белорусская медицинская академия последипломного образования, г. Минск, Республика Беларусь

<sup>2</sup>Минский научно-практический центр хирургии, трансплантологии и гематологии, г. Минск, Республика Беларусь

Вестник ВГМУ. – 2020. – Том 19, №2. – С. 70-77.

## ULTRASONIC DIAGNOSING OF THE LEFT VENTRICLE REMODELLING IN CHRONIC HEART FAILURE WITH PRESERVED EJECTION FRACTION

ZHERKO O.M.<sup>1</sup>, SHKREBNEVA E.I.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Belarusian Medical Academy of Post-Graduate Education, Minsk, Republic of Belarus

<sup>2</sup>Minsk Scientific-Practical Center of Surgery, Transplantation and Hematology, Minsk, Republic of Belarus

Vestnik VGMU. 2020;19(2):70-77.

### Резюме.

Цель исследования – разработать комплексные ультразвуковые критерии ремоделирования левого желудочка (ЛЖ) при хронической сердечной недостаточности с сохраненной фракцией выброса (ХСНсохрФВ).

Материал и методы. В 2017-2019 годах на базе УЗ «1-я городская клиническая больница» г. Минска выполнено клинично-инструментальное исследование 246 пациентов в возрасте 71 [64; 78] года, на базе ГУ «Минский научно-практический центр хирургии, трансплантологии и гематологии» – 88 пациентов в возрасте 64 [58; 70] лет. Критерии включения в исследование: синусовый ритм, эссенциальная артериальная гипертензия, хроническая ишемическая болезнь сердца, перенесенный в прошлом инфаркт миокарда, после которого прошло не менее полугода, ХСН. Критерии исключения: первичная митральная регургитация, митральный стеноз, пластика или протезирование митрального клапана, врожденные пороки сердца, острые и хронические заболевания почек, легких. Эхокардиография и 2D Speckle Tracking выполнялись на ультразвуковых аппаратах Siemens Acuson S1000 (Германия), Vivid E9 (GE Healthcare, США).

Результаты. Ведущими структурно-функциональными аномалиями левого желудочка (ЛЖ), взаимосвязанными с развитием ХСНсохрФВ, являются диастолическая дисфункция (ДД) ЛЖ I и II типов, оперативная жесткость ЛЖ  $>0,19$  мм рт. ст./мл, индексы массы миокарда ЛЖ у мужчин  $>124,8$  г/м<sup>2</sup>, у женщин  $>109,6$  г/м<sup>2</sup>, скорости пиков  $s'_{\text{septal}} \leq 8$  см/сек,  $s'_{\text{lateral}} \leq 9$  см/сек, связанные с тяжестью ДД и повышением давления наполнения ЛЖ, индексы раннего диастолического наполнения ЛЖ  $E/e'_{\text{septal}} >7,72$ ,  $E/e'_{\text{lateral}} >6,4$ ,  $E/e'_{\text{среднее}} >5,67$ , скорости  $e'_{\text{septal}} \leq 7$  см/сек,  $e'_{\text{lateral}} \leq 8$  см/сек. Прогностическими для ХСНсохрФВ являются аномалии сегментарных систолических деформаций ЛЖ: индекс механической дисперсии  $>54,69$  мсек, дельта времени до пиковой продольной деформации ЛЖ  $>136$  мсек, глобальный постсистолический индекс ЛЖ  $>5,24\%$ , глобальная пиковая систолическая скорость деформации  $>-1,1$  с<sup>-1</sup>, глобальное пиковое продольное смещение ЛЖ  $\leq 10,18$  мм, отношения ФВ ЛЖ /GLSAvg  $\leq -3,37$ .

Заключение. Ведущими патофункциональными аномалиями, взаимосвязанными с развитием ХСНсохрФВ, являются диастолическая дисфункция, механическая дисперсия и диссинергия ЛЖ.

*Ключевые слова:* трансторакальная эхокардиография, 2D Speckle Tracking эхокардиография, хроническая сердечная недостаточность с сохраненной фракцией выброса, левый желудочек, диастолическая дисфункция.

### Abstract.

Objectives. To develop comprehensive ultrasound criteria of the left ventricle (LV) remodelling in chronic heart failure with preserved ejection fraction (HFpEF).

**Material and methods.** In 2017-2019, a clinical and instrumental study of 246 patients aged 71 [64; 78] years was performed on the basis of the First City Clinical Hospital in Minsk, and 88 patients aged 64 [58; 70] years were studied on the basis of Minsk Scientific-Practical Center of Surgery, Transplantation and Hematology. Criteria for inclusion in the study: sinus rhythm, essential arterial hypertension, chronic coronary heart disease, past myocardial infarction, after which at least six months have passed, CHF. Exclusion criteria: primary mitral regurgitation, mitral stenosis, mitral valve repair or prosthetics, congenital heart defects, acute and chronic diseases of the kidneys, lungs. Echocardiography and 2D Speckle Tracking were performed on ultrasonic devices Siemens Acuson S1000 (Germany), Vivid E9 (GE Healthcare, USA).

**Results.** Structural and functional abnormalities of the left ventricle (LV) related to the development of HFpEF are LV diastolic dysfunction (DD) of types I and II, LV operative stiffness  $>0.19$  mm Hg/ml, LV myocardial mass indices for men  $>124.8$  g/m<sup>2</sup>, for women  $>109.6$  g/m<sup>2</sup>, peak velocities  $s'_{\text{septal}} \leq 8$  cm/s,  $s'_{\text{lateral}} \leq 9$  cm/s, associated with the severity of DD and increased LV filling pressure indices, LV early diastolic filling indices  $E/e'_{\text{septal}} > 7.72$ ,  $E/e'_{\text{lateral}} > 6.4$ ,  $E/e'_{\text{average}} > 5.67$ , peak velocities  $e'_{\text{septal}} \leq 7$  cm/s,  $e'_{\text{lateral}} \leq 8$  cm/s. Anomalies of segmental and global LV systolic strain are predictive for HFpEF: LV mechanical dispersion index  $>54.69$  ms, delta time to LV peak longitudinal strain  $>136$  ms, LV global post-systolic index  $>5.24\%$ , global peak systolic strain rate  $>-1,1$  s<sup>-1</sup>, LV global peak longitudinal displacement  $\leq 10.18$  mm, LV EF/GLS<sub>Avg</sub> ratios  $\leq -3.37$ .

**Conclusions.** The leading pathofunctional anomalies that are interconnected with the development of HFpEF are LV diastolic dysfunction, mechanical dispersion and dyssynergia.

**Key words:** transthoracic echocardiography, 2D Speckle Tracking echocardiography, chronic heart failure with preserved ejection fraction, left ventricle, diastolic dysfunction.

В общей популяции лиц старше 60 лет около 4,9% имеют хроническую сердечную недостаточность (ХСН) с сохраненной фракцией выброса левого желудочка (ХСНсохрФВ). ХСНсохрФВ развивается при комбинации факторов риска, специфических этиологических факторов и коморбидности: возраста, женского пола, ожирения, эссенциальной артериальной гипертензии (АГ), инфилтративных, метаболических, иммунных и воспалительных влияний и др. Ведущими патофизиологическим механизмами повреждения миокарда являются интерстициальный фиброз, воспаление, эндотелиальная дисфункция, ухудшение ауторегуляции микроциркуляторного русла, увеличение конечной диастолической жесткости миокарда левого желудочка [1-3]. Фракция выброса (ФВ) левого желудочка (ЛЖ), характеризующая желудочковый выброс, то есть изменение объема желудочка не должно рассматриваться как единственная мера сократимости, так как может оставаться неизменной при значительно сниженной глобальной систолической функции ЛЖ [4]. Необходимы комплексные ультразвуковые критерии оценки ремоделирования ЛЖ при ХСНсохрФВ, в том числе с использованием технологии 2D Speckle Tracking эхокардиографии (STE).

Цель исследования – разработать комплексные ультразвуковые критерии ремоделирования ЛЖ при ХСНсохрФВ.

## Материал и методы

В 2017-2019 годах на базе УЗ «1-я городская клиническая больница» (1 ГКБ) г. Минска выполнено клинично-инструментальное исследование 246 пациентов в возрасте 71 [64; 78] года, на базе ГУ «Минский научно-практический центр хирургии, трансплантологии и гематологии» (МНПЦХ) – 88 пациентов в возрасте 64,0 [58,0; 70,0] лет. Критерии включения в исследование: синусовый ритм, эссенциальная АГ, хроническая ишемическая болезнь сердца (ИБС), перенесенный в прошлом инфаркт миокарда (ИМ) ЛЖ, после которого прошло не менее полугодия, необходимых для стабилизации структурно-функциональных показателей ЛЖ, ХСН, информированное согласие пациентов на участие в исследовании. Критерии исключения: первичная митральная регургитация, митральный стеноз, пластика или протезирование митрального клапана, врожденные пороки сердца, острые и хронические заболевания почек, легких.

У пациентов определялся уровень N-концевого предшественника мозгового натрийуретического пептида (NT-proBNP) в сыворотке крови. Трансторакальная эхокардиография (ЭхоКГ) выполнялась в 1 ГКБ на ультразвуковом аппарате Siemens Acuson S1000 (Германия), STE – в МНПЦХ на ультразвуковом аппарате Vivid E9 (GE Healthcare, США). Фракция выброса ЛЖ

рассчитывались биплановой методикой дисков Simpson. Масса миокарда ЛЖ определялась по алгоритму площадь-длина в 2D-режиме. Измерение пиковых скоростей раннедиастолического и систолического движения септальной и латеральной частей митрального фиброзного кольца –  $e'_{septal}$ ,  $e'_{lateral}$ ,  $s'_{septal}$  и  $s'_{lateral}$  выполнялось в режиме импульсно-волновой тканевой доплерографии по стандартной методике. Расчет средней скорости раннедиастолического движения  $e'_{среднее}$  производился путем усреднения значений скоростей  $e'_{septal}$  и  $e'_{lateral}$ . Индексы раннего диастолические наполнения ЛЖ определялись при соотношении скорости пика E трансмитрального потока и скоростей  $e'$  [5]. Оперативная жесткость миокарда ЛЖ рассчитывалась по формуле:

$$K_{LV} = [70 \text{ ms}/(DT_E - 20\text{ms})]^2, \text{ мм рт. ст./мл,}$$

где:

$K_{LV}$  – жесткость миокарда ЛЖ,

$DT_E$  – время замедления пика E трансмитрального диастолического кровотока [6].

ХСН, типы диастолической дисфункции (ДД), повышение давления наполнения ЛЖ диагностированы на основании рекомендаций Европейского общества кардиологов [1, 2, 7].

Программой постобработки изображений на рабочей станции EchoPac PC (GE Healthcare, США) выполнены расчеты средней глобальной продольной деформации ЛЖ ( $GLS_{Avg}$ ), пиковых систолических продольных деформаций, индексов раннего систолического растяжения, постсистолических индексов, времени до пика систолической продольной деформации, пикового продольного смещения, пиковой систолической скорости деформации 17 сегментов ЛЖ.

Индекс механической дисперсии миокарда ЛЖ определен как стандартное отклонение среднего значения времени до пиковых продольных деформаций 12 базальных и средних сегментов ЛЖ. Дельта времени до пиковой продольной деформации рассчитывалась как разница между максимальным и минимальным периодами времени до пиковых продольных деформаций 12 сегментов ЛЖ. Индекс механической диссинергии миокарда ЛЖ определен как стандартное отклонение среднего значения пиковых систолических продольных деформаций 12 сегментов [8, 9]. Глобальное пиковое продольное смещение ЛЖ, глобальная пиковая систолическая скорость деформации получены путем расчета среднего

значения соответствующих показателей 17 сегментов ЛЖ. Отношение ФВ ЛЖ/ $GLS_{Avg}$  определялось для оценки глобальной систолической функции ЛЖ.

В контрольные группы включены пациенты 1 ГКБ (n=75) и МНПЦХ (n=49) без ХСН, в основные группы – пациенты 1 ГКБ (n=100) и МНПЦХ (n=39) с ХСНсохрФВ с ФВ ЛЖ  $\geq 50\%$ , соответственно.

Для статистического анализа создана база данных в среде Excel-2013, ее статистическую обработку осуществляли с помощью пакета прикладных программ STATISTICA (v6.0). Результаты оценивали с использованием непараметрических методов, количественные значения изучаемых показателей представляли в виде медианы и интерквартильного размаха (Me [LQ; UQ]). Для сравнения по количественным признакам использован U-критерий Манна-Уитни. Сравнение по качественным признакам выполнялось путем построения таблиц сопряженности по методу Пирсона и максимального правдоподобия  $\chi^2$ . Для оценки зависимости между рассматриваемыми признаками рассчитывался коэффициент корреляции по Спирмену (r). ROC-анализ использовался при разработке ультразвуковых диагностических критериев структурно-функционального ремоделирования сердца при ХСНсохрФВ. Статистически значимыми считали различия при  $p < 0,05$ .

## Результаты

Контрольная и основная группы пациентов 1 ГКБ сопоставимы по возрасту, полу, индексу массы тела (ИМТ), частоте и степени АГ, статистически значимо отличались по частоте заболеваемости хронической ИБС, перенесенного ИМ ЛЖ, уровням NT-proBNP, показателям, характеризующим структурно-функциональное ремоделирование ЛЖ (табл. 1).

По данным корреляционного анализа Спирмена определены статистически значимые взаимосвязи между ХСНсохрФВ и ДД ЛЖ ( $r=0,72$ ,  $p < 0,001$ ), оперативной жесткостью ( $r=0,41$ ,  $p < 0,001$ ), индексом массы миокарда и концентрической гипертрофией ЛЖ ( $r=0,38$ ,  $p < 0,001$  и  $r=0,36$ ,  $p < 0,001$ ), скоростями  $e'_{septal}$  ( $r=-0,51$ ,  $p < 0,001$ ),  $e'_{lateral}$  ( $r=-0,51$ ,  $p < 0,001$ ), индексами наполнения ЛЖ  $E/e'_{septal}$  ( $r=0,62$ ,  $p < 0,001$ ),  $E/e'_{lateral}$  ( $r=0,57$ ,  $p < 0,001$ ),  $E/e'_{среднее}$  ( $r=0,62$ ,  $p < 0,001$ ), пиками систолических скоростей  $s'_{septal}$  ( $r=-0,61$ ,

Таблица 1 – Основные характеристики пациентов контрольной и основной групп пациентов 1-ой Городской клинической больницы

Показатели	Контрольная группа	Основная группа	p
Возраст, лет	67 [64; 75]	72 [66; 78]	U=3077,0, p=0,05
ИМТ, кг/м <sup>2</sup>	30,9 [27,0; 36,1]	30,6 [27,1; 33,7]	U=3539,5 p=0,44
АГ, % (n)	100 (75)	100 (100)	-
АГ, степень	2 [2; 3]	2 [2; 3]	$\chi^2=3,37$ , p=0,50
ИБС, % (n)	65,3 (49)	94,0 (94)	$\chi^2=23,10$ , p<0,001
Перенесенный ИМ, % (n)	8,0 (6)	28,0 (28)	$\chi^2=11,19$ p=0,0008
NT-proBNP, пг/мл	75 [47; 104]	284 [201; 404]	U=0,00, p<0,001
ДД ЛЖ, % (n)	50,7 (38)	74,0 (74)	$\chi^2=85,72$ , p<0,001
Повышение давления наполнения ЛЖ, % (n)	0	6,0 (6)	$\chi^2=9,58$ , p=0,008
ИММ ЛЖ, г/м <sup>2</sup>	117,7 [101,1; 131,7]	120,2 [102,3; 145,0]	U=8911,5 p=0,55
Жесткость ЛЖ, мм рт. ст./мл	0,16 [0,10; 0,24]	0,26 [0,20; 0,35]	U=2002,0, p<0,001
e' <sub>septal</sub> , см/сек	9 [7; 11]	7 [6; 8]	U=2172,5, p<0,001
e' <sub>lateral</sub> , см/сек	10 [8; 12]	7 [6; 9]	U=2133,5, p<0,001
E/e' <sub>septal</sub>	6,0 [5,2; 7,8]	9,0 [7,0; 11,0]	U=2149,0, p<0,001
E/e' <sub>lateral</sub>	5,5 [4,2; 6,8]	7,7 [6,4; 9,8]	U=1972,5, p<0,001
E/e' <sub>среднее</sub>	5,3 [4,5; 7,2]	8,5 [6,6; 10,5]	U=1906,0, p<0,001
s' <sub>septal</sub> , см/сек	10 [9; 11]	8 [7; 9]	U=2234,5, p<0,001
s' <sub>lateral</sub> , см/сек	11 [9; 12]	8 [7; 9]	U=2146,0, p<0,001

p<0,001), s'<sub>lateral</sub> (r=-0,65, p<0,001).

У 74,0% пациентов с ХСНсохрФВ диагностирована ДД ЛЖ: в 29% наблюдений ДД ЛЖ I типа (замедленной релаксации); в 45% – II типа (псевдонормализации), в том числе в 6% случаев с повышенным в покое давлением наполнения ЛЖ.

Прогностическими для ХСНсохрФВ являются индексы массы миокарда ЛЖ у мужчин >124,8 г/м<sup>2</sup>, у женщин >109,6 г/м<sup>2</sup>, оперативная жесткость ЛЖ >0,19 мм рт. ст./мл. Установлены прогностические для ХСНсохрФВ функциональные аномалии ЛЖ: значения пиковых скоростей e'<sub>septal</sub> ≤7 см/сек и e'<sub>lateral</sub> ≤8 см/сек, индексы наполнения ЛЖ E/e'<sub>septal</sub> >7,72, E/e'<sub>lateral</sub> >6,4, E/e'<sub>среднее</sub> >5,67, пиковые систолические скорости s'<sub>septal</sub> ≤8 см/сек и s'<sub>lateral</sub> ≤9 см/сек (табл. 2).

Контрольная и основная группы пациентов МНПЦХ сопоставимы по возрасту, частоте заболеваемости эссенциальной АГ и ее степени, ИБС, перенесенного ИМ, величине ФВ ЛЖ, достоверно различались по показателям STE, характеризующим механическую дисперсию и диссинергию ЛЖ (табл. 3).

По данным корреляционного анализа Спирмена определены статистически значимые

взаимосвязи между ХСНсохрФВ и аномалиями локальных и глобальных систолических деформаций: индексом механической дисперсии (r=0,45, p<0,001), дельтой времени до пиковой продольной деформации ЛЖ (r=0,39, p=0,0002), глобальным постсистолическим индексом ЛЖ (r=0,54, p<0,001), средней пиковой систолической скоростью деформации (r=0,59, p<0,001), глобальным пиковым продольным смещением ЛЖ (r=-0,76, p<0,001); между GLS<sub>Avg</sub> и индексом механической дисперсии (r=0,49, p<0,001), глобальным индексом раннего систолического растяжения (r=0,43, p<0,001), глобальным постсистолическим индексом ЛЖ (r=0,54, p<0,001); между индексом механической дисперсии и отношением ФВ/GLS<sub>Avg</sub> (r=-0,56, p<0,001).

Прогностическими для ХСНсохрФВ являются индекс механической дисперсии >54,69 msec, дельта времени до пиковой продольной деформации ЛЖ >136 msec, глобальный постсистолический индекс ЛЖ >5,24%, отношение ФВ/GLS<sub>Avg</sub> ≤-3,37, значения средней пиковой систолической скорости деформации >-1,1 с<sup>-1</sup>, значения среднего пикового продольного смещения ЛЖ ≤10,18 мм (табл. 4).

Таблица 2 – Качество прогностических критериев ХСНсохрФВ по данным ROC-анализа

Критерий	AUC (95% ДИ) при $p < 0,0001$	Индекс Юдена	Чувствительность, % (95% ДИ)	Специфичность, % (95% ДИ)	+LR (95% ДИ)	-LR (95% ДИ)
Индекс массы ЛЖ $>124,8$ г/м <sup>2</sup> у мужчин	0,84 (0,78-0,89)	0,52	74,6 (66,2-81,8)	77,3 (65,3-86,7)	3,28 (2,1-5,2)	0,33 (0,2-0,5)
Индекс массы ЛЖ $>109,6$ г/м <sup>2</sup> у женщин	0,88 (0,92-0,92)	0,64	88,7 (79,0-95,0)	75,5 (66,0-83,5)	3,62 (2,5-5,1)	0,15 (0,08-0,3)
Жесткость ЛЖ $>0,19$ мм рт.ст./мл	0,74 (0,67-0,80)	0,41	75,0 (65,3-83,1)	65,8 (54,0-76,3)	2,19 (1,6-3,1)	0,38 (0,3-0,6)
$e'_{\text{septal}} \leq 7$ см/сек	0,81 (0,74-0,87)	0,41	84,7 (54,4-74,5)	76,4 (64,9-85,6)	2,75 (1,8-4,3)	0,46 (0,3-0,6)
$e'_{\text{lateral}} \leq 8$ см/сек	0,80 (0,72-0,85)	0,42	70,0 (59,0-79,0)	75,4 (60,9-82,0)	2,84 (1,8-3,8)	0,40 (0,3-0,6)
$E/e'_{\text{septal}} > 7,72$	0,85 (0,78-0,90)	0,53	67,8 (57,1-77,2)	85,7 (74,6-93,3)	4,74 (3,5-7,5)	0,38 (0,2-0,5)
$E/e'_{\text{lateral}} > 6,4$	0,83 (0,76-0,89)	0,52	75,6 (65,4-84,0)	76,1 (64,1-85,7)	3,16 (2,5-4,9)	0,32 (0,2-0,5)
$E/e'_{\text{среднее}} > 5,67$	0,86 (0,80-0,91)	0,59	89,0 (80,7-94,6)	70,3 (57,6-81,1)	3,0 (2,5-4,7)	0,16 (0,1-0,3)
$s'_{\text{septal}} \leq 8$ см/сек	0,87 (0,80-0,92)	0,56	68,2 (57,2-77,9)	88,1 (77,1-95,1)	5,75 (4,2-8,7)	0,36 (0,2-0,4)
$s'_{\text{lateral}} \leq 9$ см/сек	0,88 (0,82-0,93)	0,55	80,0 (56,7-77,0)	74,6 (73,9-92,5)	4,45 (2,5-8,0)	0,38 (0,3-0,5)

Таблица 3 – Характеристика пациентов контрольной и основной групп пациентов МНПЦХ

Показатель	Контрольная группа	Основная группа	p
Возраст, лет	64 [59; 71]	62 [56; 69]	U=834,5, p=0,31
АГ, % (n)	98,0 (48)	100,0 (39)	$\chi^2=1,63$ , p=0,44
АГ, степень	2 [2; 2]	2 [2; 2]	$\chi^2=1,30$ , p=0,73
ИБС, % (n)	85,7 (42)	97,4 (37)	$\chi^2=1,37$ , p=0,24
Перенесенный ИМ, % (n)	2,0 (1)	5,1 (2)	$\chi^2=0,67$ , p=0,41
ФВ ЛЖ, %	62,0 [60,0; 65,0]	62,0 [58,0; 64,0]	U=804,0, p=0,20
GLS <sub>Avg</sub> , %	-21,2 [-22,1; -19,9]	-15,8 [-16,6; -14,2]	U=19,50, p<0,001
Индекс механической дисперсии ЛЖ, мсек	45,69 [37,03; 53,22]	60,13 [50,90; 74,52]	U=456,0, p<0,001
Дельта времени до пиковой продольной деформации ЛЖ, мсек	135,0 [110,0; 161,5]	176,0 [157,0; 238,0]	U=256,0, p<0,001
Глобальный постсистолический индекс ЛЖ, мсек	2,71 [1,47; 5,06]	8,41 [4,00; 16,29]	U=356,5, p<0,001
Глобальная пиковая систолическая скорость деформации ЛЖ, с <sup>-1</sup>	-1,28 [-1,49; -1,11]	-1,02 [-1,14; -0,95]	U=245,0, p<0,001
Глобальное пиковое продольное смещение ЛЖ, мм	11,53 [10,41; 12,06]	8,35 [7,29; 9,88]	U=632,0, p=0,007
ФВ/GLS <sub>Avg</sub>	-3,17 [-3,73; -2,77]	-4,07 [-6,88; -3,59]	U=487,0, p<0,001

## Обсуждение

Фундаментальной морфологической основой ремоделирования ЛЖ и ключевым фактором, способствующим развитию и прогрессии ХСН, является фиброз. Фиброз при ХСНсохрФВ многогранен: вызван повышенным напряжением стенок ЛЖ вследствие диастолической и систолической желудочковой дисфункции, связан с АГ, старением, т. к. с возрастом увеличивается производство коллагена, а его деградация становится менее эффективной. Таким образом, при ХСНсохрФВ формируется «хронический фиброзный ответ» [10], степень выраженности фиброза имеет значительную корреляцию с ДД ЛЖ [11].

Снижение скоростей раннего диастолического движения септальной и латеральной частей митрального фиброзного кольца  $e'_{\text{septal}}$  и  $e'_{\text{lateral}}$  при ХСНсохрФВ взаимосвязано с тяжестью ДД ЛЖ ( $r=-0,51$ ,  $p<0,001$  и  $r=-0,39$ ,  $p<0,001$ ) и с повышением давления наполнения ЛЖ ( $r=-0,59$ ,  $p<0,001$ ). Индексы раннего диастолического наполнения ЛЖ ( $E/e'_{\text{septal}}$ ,  $E/e'_{\text{lateral}}$ ,  $E/e'_{\text{среднее}}$ ) статистически значимо коррелируют с тяжестью ДД ЛЖ ( $r=0,70$ ,  $p<0,001$ ,  $r=0,50$ ,  $p<0,001$  и  $r=0,61$ ,  $p<0,001$ ), повышением давления наполнения ЛЖ ( $r=0,71$ ,  $p<0,001$ ,  $r=0,56$ ,  $p<0,001$  и  $r=0,67$ ,  $p<0,001$ ). Таким образом, установленные функ-

циональные аномалии при ХСНсохрФВ связаны с ДД и повышенным давлением наполнения ЛЖ, что указывает на их прогностическую и диагностическую значимость.

ХСНсохрФВ и снижение значений  $GLS_{\text{Avg}}$  взаимосвязаны с аномалиями локальных продольных систолических деформаций ЛЖ: увеличением механической дисперсии и диссинергии миокарда ЛЖ. В норме все сегменты ЛЖ сокращаются синхронизировано, энергия миокарда эффективно используется для выброса крови из желудочка. Механические и электрические изменения ЛЖ тесно связаны, регионарную гетерогенность сокращения ЛЖ можно рассматривать как механические последствия электрических изменений и аномалий ткани [4, 8, 9]. Показателями, характеризующими электрические аномалии миокарда ЛЖ, являются индексы механической дисперсии и дельта времени до пиковой продольной деформации ЛЖ. При ишемии, фиброзе формируются региональные различия электрических и механических свойств миокарда. Межсегментарные различия в сократимости приводят к неоднородности сокращения – механической дисперсии, искажению систолической функции миокарда, постсистолическим деформациям, когда сегменты, активированные ранее и позднее, сокращаются в разное время, что приводит к диссинхронизированным характеристикам сокраще-

Таблица 4 – Качество прогностических критериев ХСНсохрФВ по данным STE

Критерий	AUC (95% ДИ) при $p<0,0001$	Индекс Юдена	Чувствительность, % (95% ДИ)	Специфичность, % (95% ДИ)	+LR (95% ДИ)	-LR (95% ДИ)
Индекс механической дисперсии ЛЖ $>54,69$ мсек	0,76 (0,66-0,85)	0,51	71,8 (55,1-85,0)	79,6 (65,7-89,8)	3,52 (2,0-6,3)	0,35 (0,2-0,6)
Дельта времени до пиковой продольной деформации $>136$ мсек	0,83 (0,73-0,91)	0,52	88,6 (73,3-96,8)	63,6 (47,8-77,6)	2,44 (1,6-3,7)	0,18 (0,07-0,5)
Глобальный постсистолический индекс ЛЖ $>5,24\%$	0,83 (0,72-0,91)	0,52	65,5 (45,7-82,1)	86,5 (71,2-95,5)	4,85 (2,1-11,4)	0,4 (0,2-0,7)
ФВ ЛЖ/ $GLS_{\text{Avg}} \leq -3,37$	0,78 (0,67-0,86)	0,64	92,3 (79,1-98,4)	71,4 (56,7-83,4)	3,23 (2,1-5,1)	0,11 (0,04-0,3)
Глобальная пиковая скорость деформации $> -1,1 \text{ c}^{-1}$	0,85 (0,75-0,92)	0,85	68,6 (50,7-83,1)	84,4 (70,5-93,5)	4,41 (2,2-9,0)	0,37 (0,2-0,6)
Глобальное пиковое продольное смещение ЛЖ $\leq 10,18$ мм	0,94 (0,86-0,98)	0,79	94,3 (80,8-99,3)	84,4 (80,8-99,3)	6,06 (3,1-12,0)	0,068 (0,02-0,3)

ния. Механическая дисперсия ЛЖ коррелирует со степенью фиброза миокарда [4, 8, 9, 12]. В норме механическая дисперсия ЛЖ, определяемая по данным STE, минимальна и составляет не более 2% [4, 9].

Функциональным и гемодинамическим последствием диссинхронизации локальных продольных систолических деформаций является задержка наступления и снижение глобальной релаксации в диастолу, повышение давления наполнения ЛЖ [8]. Так как продольную сократительную функцию в значительной мере определяют сокращения субэндокардиального слоя, снижение продольной деформации у лиц с ХСНсохрФВ может быть связано с субэндокардиальным фиброзом [11]. Таким образом, разработанные показатели STE отражают морфологические особенности ЛЖ и являются ведущими патофункциональными аномалиями, взаимосвязанными с развитием ХСНсохрФВ.

### Заключение

1. Ведущими структурно-функциональными аномалиями ЛЖ, взаимосвязанными с развитием ХСНсохрФВ, являются диастолическая дисфункция ЛЖ I и II типов, оперативная жесткость миокарда ЛЖ  $>0,19$  мм рт. ст./мл, индексы массы миокарда ЛЖ у мужчин  $>124,8$  г/м<sup>2</sup>, у женщин  $>109,6$  г/м<sup>2</sup>, скорости систолических пиков движения митрального фиброзного кольца  $s'_{\text{septal}} \leq 8$  см/сек,  $s'_{\text{lateral}} \leq 9$  см/сек, а также связанные с тяжестью ДД и повышением давления наполнения ЛЖ пиковые скорости раннего диастолического движения митрального фиброзного кольца  $e'_{\text{septal}} \leq 7$  см/сек,  $e'_{\text{lateral}} \leq 8$  см/сек, индексы раннего диастолического наполнения ЛЖ  $E/e'_{\text{septal}} > 7,72$ ,  $E/e'_{\text{lateral}} > 6,4$ ,  $E/e'_{\text{среднее}} > 5,67$ .

2. Ведущими патофункциональными аномалиями, взаимосвязанными с развитием ХСНсохрФВ, являются аномалии локальных и глобальной систолических деформаций ЛЖ – механическая дисперсия и диссинергия миокарда ЛЖ: индекс механической дисперсии  $>54,69$  мсек, дельта времени до пиковой продольной деформации ЛЖ  $>136$  мсек, глобальный постсистолический индекс ЛЖ  $>5,24\%$ , глобальная пиковая систолическая скорость деформации  $>-1,1$

с<sup>-1</sup>, глобальное пиковое продольное смещение ЛЖ  $\leq 10,18$  мм, отношения ФВ ЛЖ /GLS<sub>Avg</sub>  $\leq -3,37$ .

### Литература

1. 2016 ESC Guidelines for the diagnosis and treatment of acute and chronic heart failure / P. Ponikowski [et al.] // Eur. Heart J. – 2016 Jul. – Vol. 37, N 24. – P. 2129–2200.
2. How to diagnose heart failure with preserved ejection fraction: the HFA-PEFF diagnostic algorithm: a consensus recommendation from the Heart Failure Association (HFA) of the European Society of Cardiology (ESC) / B. Pieske [et al.] // Eur. Heart J. – 2019 Oct. – Vol. 40, N 40. – P. 3297–3317.
3. 2013 ACCF/AHA Guideline for the Management of Heart Failure. A Report of the American College of Cardiology Foundation / C. W. Yancy [et al.] // Circulation. – 2013. – Vol. 128, N 16. – P. 240–327.
4. Innovative imaging methods in heart failure: a shifting paradigm in cardiac assessment. Position statement on behalf of the Heart Failure Association of the European Society of Cardiology / J. Celutkiene [et al.] // Eur. J. Heart Fail. – 2018 Dec. – Vol. 20, N 12. – P. 1615–1633.
5. Жерко, О. М. Клиническая трансторакальная эхокардиография : практ. рук. для врачей / О. М. Жерко. – Минск : Альфа-книга, 2016. – 832 с.
6. Estimation of left ventricular operating stiffness from Doppler early filling deceleration time in humans / M. J. Garcia [et al.] // Am. J. Physiol. Heart Circ. Physiol. – 2001 Feb. – Vol. 280, N 2. – P. H554–H561.
7. Recommendations for the Evaluation of Left Ventricular Diastolic Function by Echocardiography: An Update from the American Society of Echocardiography and the European Association of Cardiovascular Imaging / S. F. Nagueh [et al.] // J. Am. Soc. Echocardiogr. – 2016 Apr. – Vol. 29, N 4. – P. 277–314.
8. The practice of clinical echocardiography / ed. C. M. Otto. – 5th ed. – Philadelphia, Pennsylvania : Elsevier, 2017. – 965 p.
9. Collier, P. A Test in Context: Myocardial Strain Measured by Speckle-Tracking Echocardiography / P. Collier, D. Phelan, A. Klein // J. Am. Coll. Cardiol. – 2017 Feb. – Vol. 69, N 8. – P. 1043–1056.
10. Towards better definition, quantification and treatment of fibrosis in heart failure. A scientific roadmap by the Committee of Translational Research of the Heart Failure Association (HFA) of the European Society of Cardiology / R. A. de Boer [et al.] // Eur. J. Heart Fail. – 2019 Mar. – Vol. 21, N 3. – P. 272–285.
11. CMR-verified diffuse myocardial fibrosis is associated with diastolic dysfunction in HFpEF / M. Y. Su [et al.] // JACC. Cardiovasc. Imaging. – 2014 Oct. – Vol. 7, N 10. – P. 991–997.
12. Assessment of wasted myocardial work: a novel method to quantify energy loss due to uncoordinated left ventricular contractions / K. Russell [et al.] // Am. J. Physiol. Heart Circ. Physiol. – 2013 Oct. – Vol. 305, N 7. – P. H996–H1003.

Поступила 02.03.2020 г.  
Принята в печать 25.03.2020 г.

## References

1. Ponikowski P, Voors AA, Anker SD, Bueno H, Cleland JGF, Coats AJS, et al. 2016 ESC Guidelines for the diagnosis and treatment of acute and chronic heart failure. *Eur Heart J*. 2016 Jul;37(24):2129-200. doi: 10.1093/eurheartj/ehw128
2. Pieske B, Tschöpe C, de Boer RA, Fraser AG, Anker SD, Donal E9, et al. How to diagnose heart failure with preserved ejection fraction: the HFA-PEFF diagnostic algorithm: a consensus recommendation from the Heart Failure Association (HFA) of the European Society of Cardiology (ESC). *Eur Heart J*. 2019 Oct;40(40):3297-3317. doi: 10.1093/eurheartj/ehz641
3. Yancy CW, Biykem MJ, Butler BJ, Casey DE, Drazner MH, Fonarow GC. 2013 ACCF/AHA Guideline for the Management of Heart Failure. A Report of the American College of Cardiology Foundation. *Circulation*. 2013;128(16):240-327.
4. Čelutkienė J, Plymen CM, Flachskampf FA, de Boer RA, Grapsa J, Manka R, et al. Innovative imaging methods in heart failure: a shifting paradigm in cardiac assessment. Position statement on behalf of the Heart Failure Association of the European Society of Cardiology. *Eur J Heart Fail*. 2018 Dec;20(12):1615-1633. doi: 10.1002/ejhf.1330
5. Zherko OM. Clinical transthoracic echocardiography: praktik ruk dlia vrachei. Minsk, RB: Al'fa-kniga; 2016. 832 p. (In Russ.)
6. Garcia MJ, Firstenberg MS, Greenberg NL, Smedira N, Rodriguez L, Prior D, et al. Estimation of left ventricular operating stiffness from Doppler early filling deceleration time in humans. *Am J Physiol Heart Circ Physiol*. 2001 Feb;280(2):H554-61.
7. Nagueh SF, Smiseth OA, Appleton CP, Byrd BF, Dokainish H, Edvardsen T, et al. Recommendations for the Evaluation of Left Ventricular Diastolic Function by Echocardiography: An Update from the American Society of Echocardiography and the European Association of Cardiovascular Imaging. *J Am Soc Echocardiogr*. 2016 Apr;29(4):277-314. doi: 10.1016/j.echo.2016.01.011
8. Otto CM, ed. The practice of clinical echocardiography. 5th ed. Philadelphia, Pennsylvania: Elsevier; 2017. 965 p.
9. Collier P, Phelan D, Klein A. A Test in Context: Myocardial Strain Measured by Speckle-Tracking Echocardiography. *J Am Coll Cardiol*. 2017 Feb;69(8):1043-1056. doi: 10.1016/j.jacc.2016.12.012
10. de Boer RA, De Keulenaer G, Bauersachs J, Brutsaert D, Cleland JG, Diez J, et al. Towards better definition, quantification and treatment of fibrosis in heart failure. A scientific roadmap by the Committee of Translational Research of the Heart Failure Association (HFA) of the European Society of Cardiology. *Eur J Heart Fail*. 2019 Mar;21(3):272-285. doi: 10.1002/ejhf.1406
11. Su MY, Lin LY, Tseng YH, Chang CC, Wu CK, Lin JL, et al. CMR-verified diffuse myocardial fibrosis is associated with diastolic dysfunction in HFpEF. *JACC Cardiovasc Imaging*. 2014 Oct;7(10):991-7. doi: 10.1016/j.jcmg.2014.04.022
12. Russell K, Eriksen M, Aaberge L, Wilhelmsen N, Skulstad H, Gjesdal O, et al. Assessment of wasted myocardial work: a novel method to quantify energy loss due to uncoordinated left ventricular contractions. *Am J Physiol Heart Circ Physiol*. 2013 Oct;305(7):H996-1003. doi: 10.1152/ajpheart.00191.2013

Submitted 02.03.2020

Accepted 25.03.2020

### Сведения об авторах:

Жерко О.М. – к.м.н., доцент, заведующая кафедрой ультразвуковой диагностики, Белорусская медицинская академия последипломного образования;

Шкробнева Э.И. – заведующая отделением функциональной диагностики, Минский научно-практический центр хирургии, трансплантологии и гематологии.

### Information about authors:

Zherko O.M. – Candidate of Medical Sciences, associate professor, head of the Chair of Ultrasound Diagnosis, Belarusian Medical Academy of Post-Graduate Education;

Shkrebneva E.I. – head of the Department of Physiologic Diagnosis, Minsk Scientific - Practical Center of Surgery, Transplantation and Hematology.

**Адрес для корреспонденции:** Республика Беларусь, 220013 г. Минск, ул. П. Бровки, д.3, корп. 3, Белорусская медицинская академия последипломного образования, кафедра ультразвуковой диагностики. E-mail: zherco@mail.ru – Жерко Ольга Михайловна.

**Correspondence address:** Republic of Belarus, 220013, Minsk, 3-3 P. Brovki str., Belarusian Medical Academy of Post-Graduate Education, Chair of Ultrasound Diagnosis. E-mail: zherco@mail.ru – Olga M. Zherko.