



ISSN 1607-0763 (Print); ISSN 2408-9516 (Online)
<https://doi.org/10.24835/1607-0763-2020-3-76-87>

2D Speckle Tracking эхокардиография в прогнозировании диастолической дисфункции левого желудочка

© Жерко О.М.^{1*}, Шкробнева Э.И.²

¹ Белорусская медицинская академия последипломного образования, Минск, Беларусь; Республика Беларусь, Минск, ул. П. Бровки, д. 3, к. 3

² Минский научно-практический центр хирургии, трансплантологии и гематологии, Минск, Беларусь; Республика Беларусь, Минск, ул. Семашко, д. 8

Цель исследования: разработать комплексные критерии прогнозирования диастолической дисфункции (ДД) левого желудочка (ЛЖ) по данным 2D Speckle Tracking эхокардиографии (STE).

Материал и методы. В 2019 г. на базе ГУ “Минский научно-практический центр хирургии, трансплантологии и гематологии” выполнено клинико-инструментальное исследование 91 пациента в возрасте 64 (58–70) лет. Критерии включения: синусовый ритм, эссенциальная артериальная гипертензия, хроническая ишемическая болезнь сердца, перенесенный в прошлом инфаркт миокарда ЛЖ, после которого прошло не менее полугода, необходимого для стабилизации структурно-функциональных показателей ЛЖ, хроническая сердечная недостаточность, информированное согласие пациента. Критерии исключения: первичная митральная регургитация, митральный стеноз, пластика или протезирование митрального клапана, врожденные пороки сердца, острые и хронические заболевания почек, легких. Трансторакальная эхокардиография и STE выполнялись на ультразвуковом аппарате Vivid E9 (GE Healthcare, США).

Результаты. Ведущими функциональными аномалиями, взаимосвязанными с ДД ЛЖ при сохраненной фракции выброса ЛЖ, являются снижение продольных диастолических, регионарных и глобальной систолических деформаций, механическая дисперсия и диссинергия миокарда ЛЖ. Установлена корреляционная зависимость между ДД ЛЖ II типа и индексом механической дисперсии ($r = 0,69$, $p < 0,001$), дельтой времени до пиковой продольной деформации ЛЖ ($r = 0,66$, $p < 0,001$), глобальным постсистолическим индексом ЛЖ ($r = 0,58$, $p < 0,001$), GLS_{AVG} ($r = 0,63$, $p < 0,001$). Для ДД ЛЖ характерны значения ранней диастолической продольной деформации E базально-латерального сегмента ЛЖ $> -6,75\%$, базально-септального сегмента ЛЖ $> -5,22\%$, отношения ранней и поздней диастолических продольных деформаций E/A базально-латерального сегмента $\leq 0,91$, базально-септального сегмента $\leq 0,69$. При ДД ЛЖ I типа индекс механической дисперсии составляет $>49,34$ мс, дельта времени до пиковой продольной деформации ЛЖ >157 мс. Прогностическими для ДД II типа являются индекс механической дисперсии $>49,34$ мс, дельта времени до пиковой продольной деформации >136 мс, глобальный постсистолический индекс $>6,24\%$, индекс механической диссинергии $>4,60\%$, глобальное пиковое продольное смещение ЛЖ $\leq 9,88$ мм, $GLS_{AVG} > -18,5\%$ (чувствительность 88,2%, специфичность 83,3%).

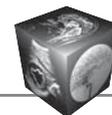
Выводы. Применение в практическом здравоохранении разработанных прогностических показателей STE позволит повысить эффективность диагностики ДД ЛЖ.

Ключевые слова: 2D Speckle Tracking эхокардиография, диастолическая дисфункция левого желудочка

Авторы подтверждают отсутствие конфликтов интересов.

Для цитирования: Жерко О.М., Шкробнева Э.И. 2D Speckle Tracking эхокардиография в прогнозировании диастолической дисфункции левого желудочка. *Медицинская визуализация*. 2020; 24 (3): 76–87. <https://doi.org/10.24835/1607-0763-2020-3-76-87>

Поступила в редакцию: 17.02.2020. **Принята к печати:** 16.04.2020. **Опубликована online:** 30.09.2020.



2D Speckle Tracking echocardiography in the prognostication of left ventricle diastolic dysfunction

© Olga M. Zherko^{1*}, Elina I. Shkrebneva²

¹ Belarusian Medical Academy of Postgraduate Education, Minsk, Belarus, Department of Ultrasound Diagnostics; 3, building 3, P. Brovka str., Minsk, Republic of Belarus.

² Minsk Scientific and Practical Center for Surgery, Transplantology and Hematology, Belarus, functional diagnostics department; 8, Semashko str., Minsk, Republic of Belarus.

The aim of the study: to develop prediction comprehensive criteria for the diastolic dysfunction (DD) of the left ventricle (LV) according to 2D Speckle Tracking echocardiography (STE).

Materials and methods. A clinical and instrumental study of 91 patients aged 64.0 was performed [58.0; 70.0] years in the Minsk Scientific and Practical Center of Surgery, Transplantology and Hematology in 2019. Criteria for inclusion: sinus rhythm, essential arterial hypertension, chronic coronary artery disease, previous left myocardial infarction, after which at least six months have passed to stabilize the LV structural and functional parameters, chronic heart failure, patient informed consent. Exclusion criteria: primary mitral regurgitation, mitral stenosis, mitral valve repair or prosthetics, congenital heart defects, acute and chronic diseases of the kidneys, lungs. Transthoracic echocardiography and STE was performed on ultrasound machine Vivid E9 (GE Healthcare, USA).

Results. The leading functional anomalies, interconnected in the development of LV DD, are decline of the LV longitudinal diastolic, regional and global systolic strain, LV mechanical dispersion and dyssynergy. Correlations between LV DD type II and the mechanical dispersion index ($r = 0.69$, $p < 0.001$), delta of LV time to peak longitudinal deformation ($r = 0.66$, $p < 0.001$), LV global post-systolic index ($r = 0.58$, $p < 0.001$), GLS_{AVG} ($r = 0.63$, $p < 0.001$) were established. LV DD is characterized by early diastolic longitudinal strain E of the LV basal lateral segment $> -6.75\%$, LV basal septal segment $> -5.22\%$, early and late diastolic longitudinal strain ratio E/A of the LV basal lateral segment ≤ 0.91 , basal-septal segment ≤ 0.69 . LV DD type I is characterized by an LV mechanical dispersion index > 49.34 ms, LV delta time to peak longitudinal strain > 157 ms. Prognostic values for LV DD type II are LV mechanical dispersion index > 49.34 ms, delta time to peak longitudinal strain is > 136 ms, global post-systolic index $> 6.24\%$, mechanical dyssynergy index $> 4.60\%$, global LV peak longitudinal displacement ≤ 9.88 mm, $GLS_{AVG} > -18.5\%$ (sensitivity 88.2%, specificity 83.3%).

Conclusions. The use of the developed STE prediction value in practical public health will increase the efficiency of diagnosis of LV DD.

Keywords: 2D Speckle Tracking echocardiography, diastolic dysfunction of the left ventricle

Conflict of interest. The authors declare no conflict of interest. The study had no sponsorship.

For citation: Zherko O.M., Shkrebneva E.I. 2D Speckle Tracking echocardiography in the prognostication of left ventricle diastolic dysfunction. *Medical Visualization*. 2020; 24 (3): 76–87. <https://doi.org/10.24835/1607-0763-2020-3-76-87>

Received: 17.02.2020.

Accepted for publication: 16.04.2020.

Published online: 30.09.2020.

Введение

Технология 2D Speckle Tracking эхокардиографии (STE) точно определяет временные и механические сегментарные и глобальные функции миокарда левого желудочка (ЛЖ) [1, 2]. Расчет деформаций высокоинформативен на стадии ранних изменений систолической функции левого желудочка (ЛЖ) при эссенциальной артериальной гипертензии (АГ), хронической ишемической болезни сердца (ИБС) для оценки жизнеспособности миокарда и др. [2, 3]. Однако до настоящего времени не разработаны комплексные критерии прогнозирования диастолической дисфункции (ДД) ЛЖ по данным STE.

Цель исследования

Разработать комплексные критерии прогнозирования ДД ЛЖ по данным методики STE.

Материал и методы

В 2019 г. на базе ГУ “Минский научно-практический центр хирургии, трансплантологии и гематологии” выполнено клинко-инструментальное исследование 91 пациента в возрасте 64 (58–70) лет. Критерии включения в исследование: синусовый ритм, эссенциальная АГ, хроническая ИБС, перенесенный в прошлом инфаркт миокарда (ИМ) ЛЖ, после которого прошло не менее полугодия, необходимого для стабилизации структурно-функцио-



нальных показателей ЛЖ, хроническая сердечная недостаточность (ХСН), информированное согласие пациента. Критерии исключения: первичная митральная регургитация, митральный стеноз, пластика или протезирование митрального клапана, врожденные пороки сердца, острые и хронические заболевания почек, легких.

Трансторакальная эхокардиография и STE выполнялись на ультразвуковом аппарате Vivid E9 (GE Healthcare, США). Фракция выброса (ФВ) ЛЖ рассчитывалась биплановой методикой дисков Simpson [1]. Типы ДД ЛЖ определены согласно рекомендациям [3]. Программой постобработки изображений на рабочей станции EchoPac PC (GE Healthcare, США) выполнены расчеты ранних и поздних диастолических продольных деформаций E и A базально-латерального и базально-септального сегментов ЛЖ, их отношения E/A в четырехкамерной апикальной позиции, средней глобальной продольной деформации ЛЖ (GLS_{Avg}), пиковых систолических продольных деформаций, постсистолических индексов, времени до пика систолической продольной деформации, пикового продольного смещения 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 [4, 5]. 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 [4, 5]. Глобальный постсистолический индекс ЛЖ рассчитан как среднее значение индексов постсистолической продольной деформации 12 сегментов ЛЖ. Глобальное пиковое продольное смещение ЛЖ получено путем расчета среднего значения продольного смещения 17 сегментов ЛЖ. Постсистолический индекс циркулярной деформации, постсистолический индекс радиальной деформации, индекс времени до пиковой циркулярной деформации, индекс времени до пиковой радиальной деформации определены как среднее значение соответствующих показателей 12 базальных и средних сегментов ЛЖ.

Для достижения поставленной цели к контрольной группе ($n = 30$) отнесены пациенты без ДД ЛЖ, к основной группе ($n = 61$) – пациенты с ДД ЛЖ. В основной группе выделены группы сравнения: пациенты с ДД ЛЖ I типа (замедленной релаксации) – 55,7% ($n = 34$), ДД ЛЖ II типа (псевдонормализации) – 44,3% ($n = 27$).

Для статистического анализа выполненных исследований создана база данных в среде Excel-2013, ее дальнейшую статистическую обработку осуществляли с помощью пакета прикладных программ Statistica (v. 8.0), результаты оценивали с использованием непараметрических методов. Количественные значения изучаемых признаков представляли в виде медианы и интерквартильного размаха (Me [LQ; UQ]). Для сравнения контрольной и основной групп, групп сравнения по количественным признакам был использован U-критерий Манна–Уитни и ранговый анализ вариаций по Краскелу–Уоллису, по качественным признакам – метод Пирсона и максимального правдоподобия χ^2 . Для оценки взаимосвязей между рассматриваемыми признаками рассчитывали коэффициент корреляции по Спирмену (r). ROC-анализ использовали при разработке ультразвуковых критериев, чувствительных и специфичных для прогнозирования ДД ЛЖ. Статистически значимыми считали различия при $p < 0,05$.

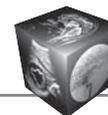
Результаты

Контрольная и основная группы были сопоставимы по возрасту, частоте заболеваемости эссенциальной АГ, ИБС, перенесенного в прошлом ИМ (табл. 1).

У пациентов контрольной группы и групп сравнения с ДД ЛЖ I и II типов определены сопоставимые нормальные значения ФВ ЛЖ, статистически значимые различия показателей STE, характеризующих продольные диастолические и систолические деформации ЛЖ (табл. 2).

По данным корреляционного анализа Спирмена установлены статистически значимые взаимосвязи ДД ЛЖ со значениями продольных диастолических деформаций ЛЖ: величиной ранней диастолической продольной деформации E базально-латерального сегмента ЛЖ ($r = 0,63$, $p < 0,001$), базально-септального сегмента ЛЖ ($r = 0,67$, $p < 0,001$), отношениями ранних и поздних диастолических продольных деформаций E/A базально-латерального сегмента ЛЖ ($r = -0,67$, $p < 0,001$), базально-септального сегмента ЛЖ ($r = -0,55$, $p < 0,001$).

Прогностическое для ДД ЛЖ значение ранней диастолической продольной деформации E базально-латерального сегмента ЛЖ составляет $> -6,75\%$ (рис. 1а, рис. 2). Результаты проверки качества прогностической модели по данным ROC-анализа: AUC 0,89 (95% ДИ 0,81–0,95), индекс Юдена 0,71, чувствительность 81,7% (95% ДИ 69,6–90,5), специфичность 88,9% (95% ДИ 70,8–97,6), отношение правдоподобия для положительного результата (+LR) 7,35 (95% ДИ 2,5–21,5),

**Таблица 1.** Характеристика пациентов контрольной и основной групп**Table 1.** Characteristics of patients in the control and main groups

Показатель	Контрольная группа	Основная группа	p
Возраст, годы	61 [55; 67]	64 [59; 70]	U = 667,5, p = 0,05
АГ, % (n)	96,7 (29)	100,0 (61)	$\chi^2 = 1,46$, p = 0,23
АГ, степень	2 [2; 2]	2 [2; 2]	$\chi^2 = 4,99$, p = 0,17
ИБС, % (n)	86,7 (26)	98,4 (60)	$\chi^2 = 2,02$, p = 0,16
Перенесенный ИМ, % (n)	3,3 (1)	6,6 (4)	$\chi^2 = 1,92$, p = 0,17

Таблица 2. Показатели STE у пациентов контрольной группы и групп сравнения с ДД ЛЖ I и II типов**Table 2.** STE indices in patients of the control group and comparison groups with LV DD types I and II

Показатель	Контрольная группа	ДД ЛЖ I типа	ДД ЛЖ II типа	p
ФВ ЛЖ, %	62,0 [60,0; 65,0]	62,0 [60,0; 64,0]	61,0 [58,0; 65,0]	H = 0,24, p = 0,63
Деформация E базально-латерального сегмента ЛЖ, %	-8,29 [-10,31; -7,44]	-5,41 [-6,8; -3,96]	-4,09 [-6,24; -1,64]	H = 36,16, p < 0,001
Деформация E базально-септального сегмента ЛЖ, %	-6,65 [-7,45; -5,40]	-4,09 [-4,63; -3,58]	-4,01 [-4,96; -3,53]	H = 27,44, p < 0,001
Отношение E/A базально-латерального сегмента ЛЖ	1,29 [1,03; 1,56]	0,66 [0,46; 0,85]	0,54 [0,33; 0,76]	H = 39,18, p < 0,001
Отношение E/A базально-септального сегмента ЛЖ	0,87 [0,74; 1,04]	0,55 [0,44; 0,67]	0,55 [0,46; 0,73]	H = 24,94, p < 0,001
Индекс механической дисперсии ЛЖ, мс	41,3 [29,7; 47,7]	57,5 [49,5; 71,8]	62,7 [55,0; 75,5]	H = 28,18, p < 0,001
Дельта времени до пиковой продольной деформации ЛЖ, мс	121,5 [87,0; 136,0]	165,0 [148,0; 202,0]	216,0 [157,0; 238,0]	H = 25,96, p < 0,001
GLS _{AVG} , %	-20,5 [-22,1; -19,2]	-18,2 [-20,5; -15,0]	-16,9 [-17,9; -14,8]	H = 11,47, p = 0,003

отношение правдоподобия для отрицательного результата (-LR) 0,21 (95% ДИ 0,1–0,4).

Прогностическое для ДД ЛЖ значение деформации E базально-септального сегмента ЛЖ составляет > -5,22% (рис. 1б), AUC 0,89 (95% ДИ 0,81–0,95), индекс Юдена 0,74, чувствительность 85,0% (95% ДИ 73,4–92,9), специфичность 88,9% (95% ДИ 70,8–97,6), +LR 7,65 (95% ДИ 2,6–22,4), -LR 0,17 (95% ДИ 0,09–0,3).

Значение отношения ранней и поздней диастолических продольных деформаций E/A базально-латерального сегмента ЛЖ, прогностическое для ДД ЛЖ, равно 0,91 или менее (рис. 1в), AUC 0,92 (95% ДИ 0,84–0,97), индекс Юдена 0,74, чувствительность 85,0% (95% ДИ 73,4–92,9), специфичность 88,9% (95% ДИ 70,8–97,6), +LR 7,65 (95% ДИ 2,6–22,4), -LR 0,17 (95% ДИ 0,09–0,3).

Прогностическое для ДД ЛЖ значение отношения ранней и поздней диастолических продольных деформаций E/A базально-септального сегмента ЛЖ равно 0,69 или менее (рис. 1г), AUC 0,84 (95%

ДИ 0,75–0,91), индекс Юдена 0,64, чувствительность 78,3% (95% ДИ 65,8–87,9), специфичность 85,2% (95% ДИ 66,3–95,8), +LR 5,29 (95% ДИ 2,1–13,2), -LR 0,25 (95% ДИ 0,2–0,4).

По данным корреляционного анализа определены статистически значимые взаимосвязи ДД ЛЖ I типа с аномалиями продольных систолических деформаций ЛЖ: индексом механической дисперсии миокарда ($r = 0,54$, $p < 0,001$), дельтой времени до пиковой продольной деформации ЛЖ ($r = 0,54$, $p < 0,001$), отсутствовали ассоциации ДД ЛЖ I типа с индексом механической диссинергии ЛЖ ($p = 0,31$), аномалиями циркулярных и радиальных систолических деформаций ЛЖ: постсистолическим индексом циркулярной деформации ($p = 0,53$), постсистолическим индексом радиальной деформации ($p = 0,18$), индексом времени до пиковой циркулярной деформации ($p = 0,48$).

Установлены статистически значимые взаимосвязи между ДД ЛЖ II типа и индексом механической дисперсии ($r = 0,69$, $p < 0,001$), дельтой

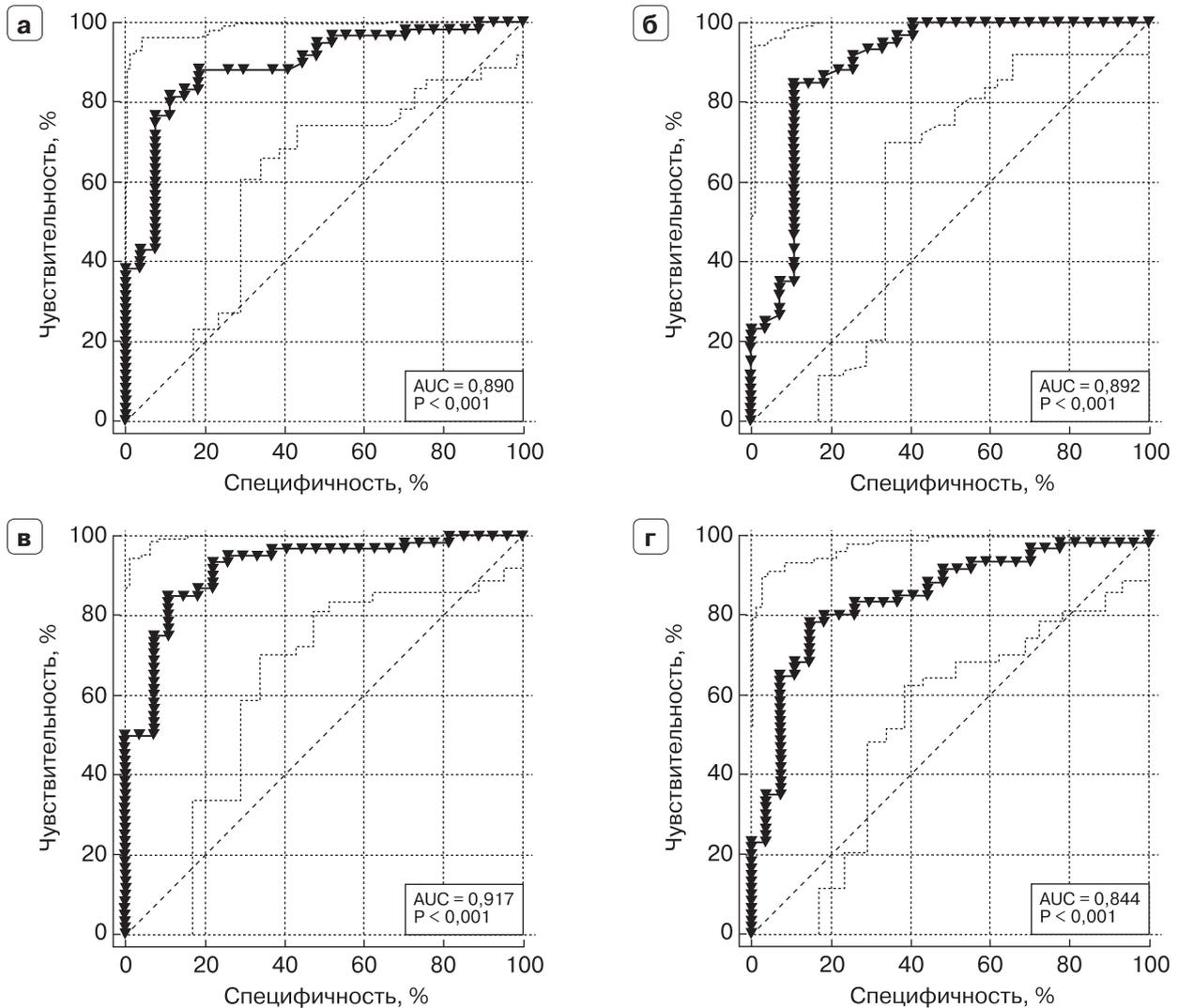


Рис. 1. Результаты проверки качества моделей прогнозирования ДД ЛЖ по данным ROC-анализа. **а** – ранняя диастолическая продольная деформация E базально-латерального сегмента ЛЖ > -6,75%; **б** – ранняя диастолическая продольная деформация E базально-септального сегмента ЛЖ > -5,22%; **в** – отношение ранней и поздней диастолических продольных деформаций E/A базально-латерального сегмента ЛЖ <= 0,91; **г** – отношение E/A базально-септального сегмента ЛЖ <= 0,69.

Fig. 1. The results of quality assessment of models for predicting of LV DD according to ROC analysis. **a** – early diastolic longitudinal deformation E of LV basal lateral segment > -6.75%; **б** – early diastolic longitudinal deformation E of LV basal septal segment > -5.22%; **в** – the ratio of the early and late diastolic longitudinal deformations E/A of LV basal lateral segment <= 0.91; **г** – the ratio the E/A of LV basal septal segment <= 0.69.

времени до пиковой продольной деформации ЛЖ ($r = 0,66$, $p < 0,001$), глобальным постсистолическим индексом ($r = 0,58$, $p < 0,001$), индексом механической диссинергии ($r = 0,33$, $p = 0,02$), показателем глобального пикового продольного смещения ЛЖ ($r = -0,55$, $p < 0,001$), GLS_{AVG} ($r = 0,63$, $p < 0,001$), отсутствовали взаимосвязи с постсистолическим индексом циркулярной деформации ($p = 0,74$), постсистолическим индексом радиальной деформации ($p = 0,67$), индексом времени до

пиковой циркулярной деформации ($p = 0,07$), индексом времени до пиковой радиальной деформации ($p = 0,89$).

Прогностическое для ДД ЛЖ I типа значение индекса механической дисперсии миокарда ЛЖ составляет >49,34 мс (рис. 3а), AUC 0,81 (95% ДИ 0,70–0,90), индекс Юдена 0,58, чувствительность 75,0% (95% ДИ 57,8–87,9), специфичность 83,3% (95% ДИ 65,3–94,4), +LR 4,50 (95% ДИ 2,0–10,2), -LR 0,30 (95% ДИ 0,2–0,5).

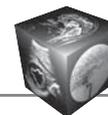


Рис. 2. Пример STE у пациента с ДД ЛЖ II типа. Ранняя диастолическая продольная деформация E базально-септального сегмента ЛЖ $-4,98\%$, ранняя диастолическая продольная деформация E базально-латерального сегмента ЛЖ $-2,30\%$, отношение ранней и поздней диастолических продольных деформаций E/A базально-септального сегмента ЛЖ $0,65$, отношение E/A базально-латерального сегмента ЛЖ $0,30$.

Fig. 2. An example of STE in a patient with LV DD type II. Early diastolic longitudinal deformation E of LV basal lateral segment -2.30% , early diastolic longitudinal deformation E of LV basal septal segment -4.98% , the ratio of the early and late diastolic longitudinal deformations E/A of LV basal lateral segment 0.30 , the ratio the E/A of LV basal septal segment 0.65 .

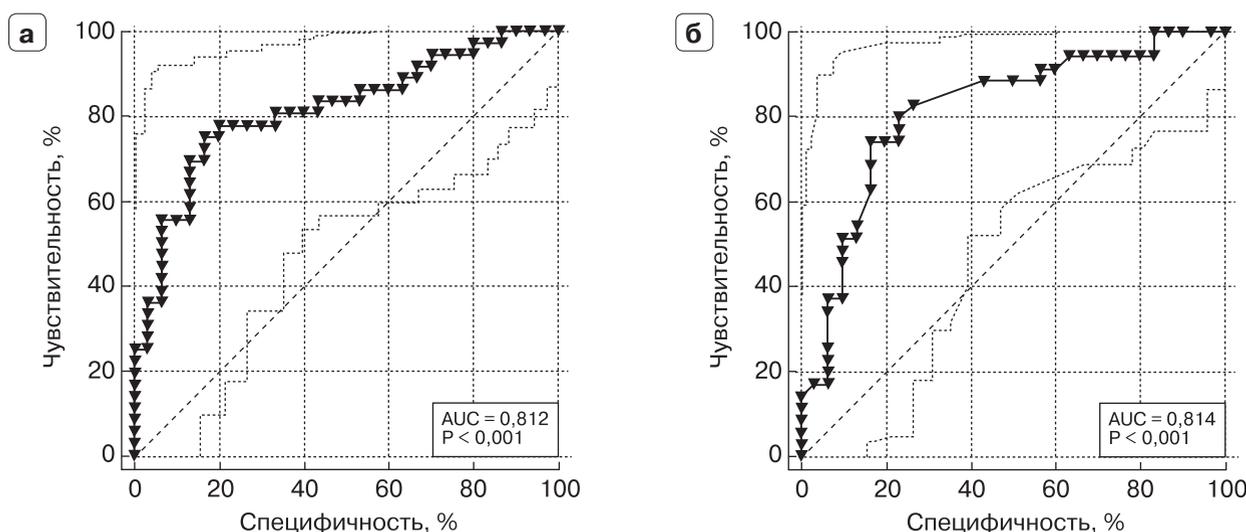


Рис. 3. Результаты проверки качества прогностических критериев ДД ЛЖ I типа по данным ROC-анализа. **а** – индекс механической дисперсии ЛЖ $>49,34$ мс; **б** – дельта времени до пиковой продольной деформации ЛЖ >157 мс.

Fig. 3. Results of checking the quality of prognostic criteria for LV DD type I according to ROC analysis. **a** – LV mechanical dispersion index >49.34 ms; **b** – delta of LV time-to peak longitudinal strain >157 ms.

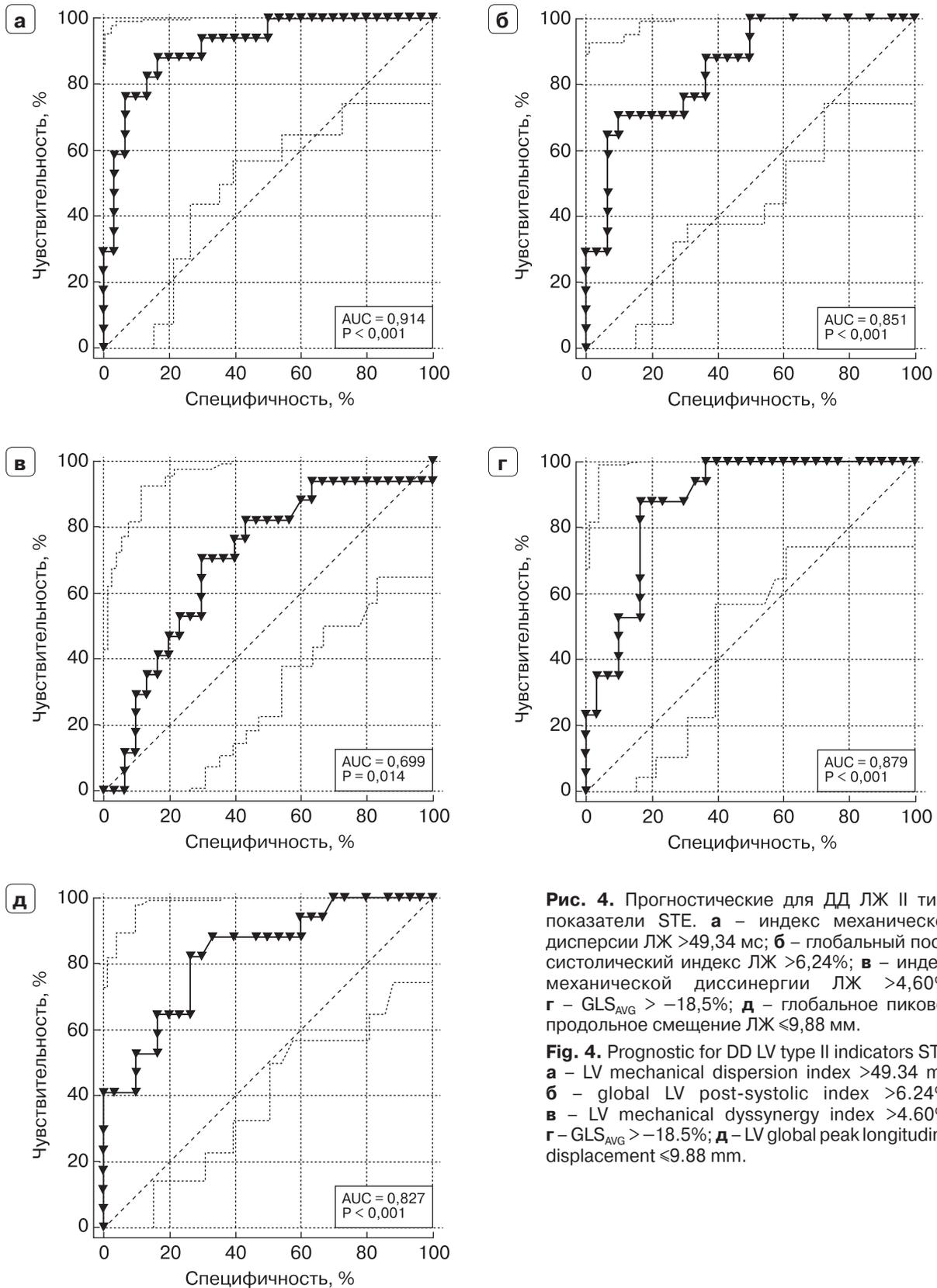
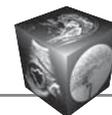


Рис. 4. Прогностические для ДД ЛЖ II типа показатели STE. **а** – индекс механической дисперсии ЛЖ >49,34 мс; **б** – глобальный пост-систолический индекс ЛЖ >6,24%; **в** – индекс механической диссинергии ЛЖ >4,60%; **г** – $GLS_{AVG} > -18,5\%$; **д** – глобальное пиковое продольное смещение ЛЖ $\leq 9,88$ мм.

Fig. 4. Prognostic for DD LV type II indicators STE. **a** – LV mechanical dispersion index >49.34 ms; **б** – global LV post-systolic index >6.24%; **в** – LV mechanical dyssynergy index >4.60%; **г** – $GLS_{AVG} > -18.5\%$; **д** – LV global peak longitudinal displacement ≤ 9.88 mm.



Прогностическое для ДД ЛЖ I типа значение дельты времени до пиковой продольной деформации ЛЖ определено >157 мс (рис. 3б), AUC 0,81 (95% ДИ 0,70–0,90), индекс Юдена 0,58, чувствительность 74,3% (95% ДИ 56,7–87,5), специфичность 83,3% (95% ДИ 65,3–94,4), +LR 4,26 (95% ДИ 2,0–10,2), –LR 0,31 (95% ДИ 0,2–0,6).

Индекс механической дисперсии ЛЖ, прогностический для ДД ЛЖ II типа, установлен $>49,34$ мс (рис. 4а), AUC 0,91 (95% ДИ 0,80–0,98), индекс Юдена 0,72, чувствительность 88,2% (95% ДИ 63,6–98,5), специфичность 83,3% (95% ДИ 65,3–94,4), +LR 5,29 (95% ДИ 2,3–12,0), –LR 0,14 (95% ДИ 0,04–0,5).

Прогностическая для ДД ЛЖ II типа дельта времени до пиковой продольной деформации ЛЖ составляет >136 мс, AUC 0,89 (95% ДИ 0,77–0,96), индекс Юдена 0,65, чувствительность 88,2% (95% ДИ 63,6–98,5), специфичность 76,7% (95% ДИ 57,7–90,1), +LR 3,78 (95% ДИ 1,9–7,4), –LR 0,15 (95% ДИ 0,04–0,6).

У пациентов контрольной группы и группы сравнения с ДД ЛЖ II типа определены статистически значимые различия между значениями глобальных постсистолических индексов ЛЖ

(2,15 [1,41; 1,12] % и 8,41 [4,24; 17,94] %, $U = 76,0$, $p < 0,001$). Глобальный постсистолический индекс ЛЖ, прогностический для ДД ЛЖ II типа, составляет $>6,24\%$ (рис. 4б), AUC 0,85 (95% ДИ 0,72–0,94), индекс Юдена 0,61, чувствительность 70,6% (95% ДИ 63,6–98,5), специфичность 90,0% (95% ДИ 65,3–94,4), +LR 5,29 (95% ДИ 2,3–12,0), –LR 0,14 (95% ДИ 0,04–0,5).

Установлены статистически значимые различия значений индексов механической диссинергии ЛЖ у пациентов контрольной группы и группы сравнения с ДД ЛЖ II типа (4,19 [3,56; 4,95] % и 5,10 [4,45; 6,59] %, $U = 153,5$, $p = 0,02$). Прогностический для ДД ЛЖ II типа индекс механической диссинергии ЛЖ составляет $>4,60\%$ (рис. 4в), AUC 0,70 (95% ДИ 0,55–0,82), индекс Юдена 0,41, чувствительность 70,6% (95% ДИ 44,0–89,7), специфичность 70,0% (95% ДИ 50,6–85,3), +LR 2,35 (95% ДИ 1,3–4,4), –LR 0,42 (95% ДИ 0,2–0,9). Механическая дисперсия коррелирует со степенью фиброза миокарда ЛЖ [2].

Прогностическое для ДД ЛЖ II типа значение GLS_{AVG} установлено $> -18,5\%$ (рис. 4г, рис. 5), AUC 0,88 (95% ДИ 0,75–0,96), индекс Юдена 0,72, чувствительность 88,2% (95% ДИ 63,6–98,5), спе-

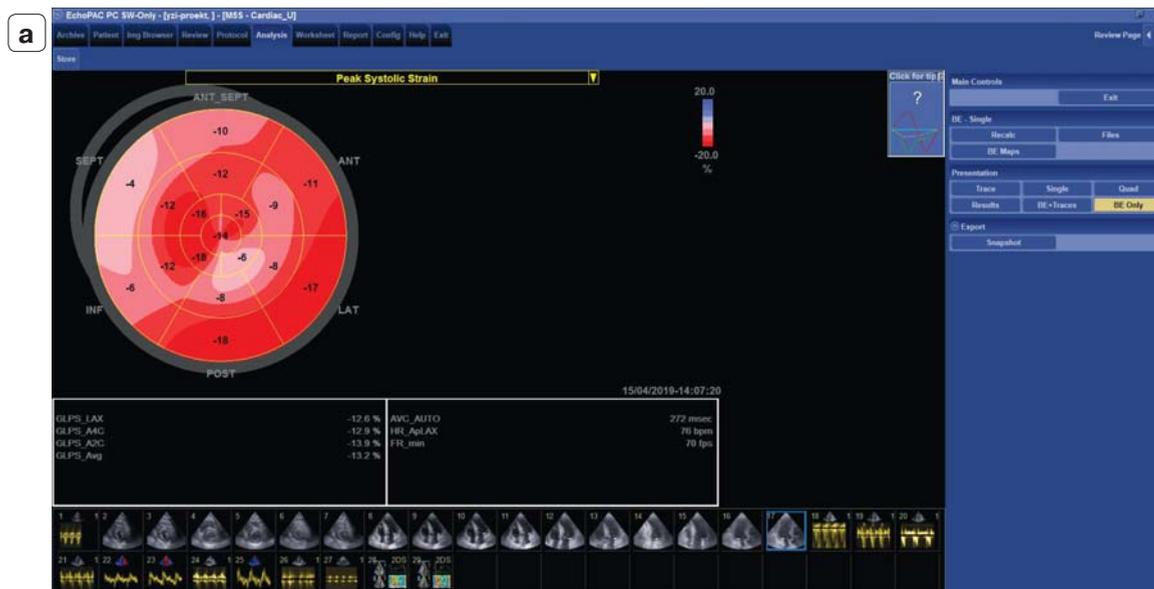


Рис. 5. STE у пациента с ДД ЛЖ II типа. **а** – пиковые систолические деформации 17 сегментов ЛЖ, представленные в диаграмме типа “мишень”; **б** – постсистолические индексы 17 сегментов ЛЖ; **в** – время до пиковой продольной деформации 17 сегментов ЛЖ. ФВ ЛЖ, рассчитанная биплановой методикой дисков Simpson, составила 64%, глобальный постсистолический индекс – 17,94%, глобальный индекс механической диссинергии 12 сегментов – 4,45%, глобальный индекс механической дисперсии – 106 мс, дельта времени до пиковой продольной деформации ЛЖ – 404 мс, GLS_{AVG} – 13,2%.

Fig. 5. STE in patient with LV DD type II. **а** – Peak Systolic Strain of 17 LV segments presented in the “target” diagram; **б** – Postsystolic Indices of 17 LV segments; **в** – Time To Peak Longitudinal Strain of 17 LV segments. LVEF by the Simpson biplane method, was 64%, global post-systolic index 17.94%, global index of mechanical dissynergy of 12 segments 4.45%, global index of mechanical dispersion 106 ms, delta of time to peak longitudinal strain of LV 404 ms, GLS_{AVG} – 13.2%.

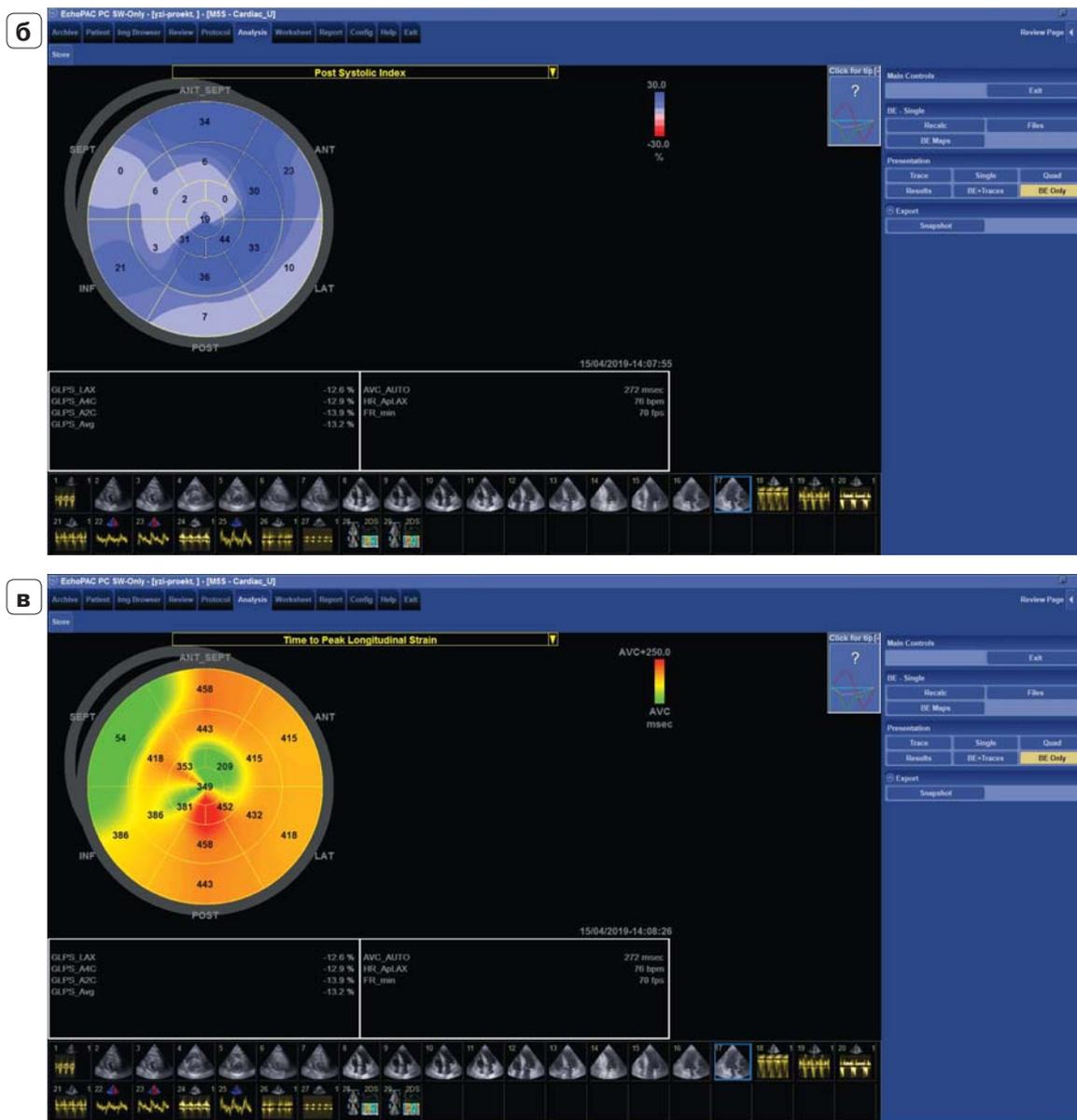


Рис. 5 (окончание).
Fig. 5 (end).

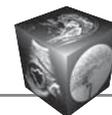
цифичность 83,3% (95% ДИ 65,3–94,4), +LR 5,29 (95% ДИ 2,3–12,0), –LR 0,14 (95% ДИ 0,04–0,5).

Значения глобального пикового продольного смещения ЛЖ достоверно отличались в контрольной группе и группе сравнения с ДД ЛЖ II типа (16,04 [11,08; 15,17]%, 8,29 [7,17; 9,88]%, $U = 88,0$, $p < 0,001$). Глобальное пиковое продольное смещение ЛЖ, являющееся прогностическим для ДД ЛЖ II типа, составляет $\leq 9,88$ мм (рис. 4д), AUC 0,83 (95% ДИ 0,69–0,92), индекс Юдена 0,56, чувствительность 82,4% (95% ДИ 56,6–96,2), специфичность 73,3% (95% ДИ 54,1–87,7), +LR 3,09 (95% ДИ 1,6–5,8), –LR 0,24 (95% ДИ 0,08–0,7).

Обсуждение

По данным выполненного исследования определено, что аномалии диастолической и систолической продольной регионарной и глобальной деформации взаимосвязаны с ДД ЛЖ, в то время как аномалии циркулярной и радиальной деформации не ассоциируются с ДД ЛЖ.

Механические и электрические изменения ЛЖ тесно связаны, и регионарную гетерогенность сокращения ЛЖ можно рассматривать как механические последствия электрических изменений и аномалий ткани [2–4]. Индекс механической дисперсии и дельта времени до пиковой продоль-



ной деформации ЛЖ характеризуют электрическую дисперсию в миокарде ЛЖ, которая может привести к искажению функции – вызвать неоднородность сокращения миокарда или механическую диссинергию и вторичное снижение GLS_{AVG} . В частности, при ДД ЛЖ II типа выявлены достоверные взаимосвязи GLS_{AVG} с индексом механической дисперсии ($r = 0,55, p < 0,001$), глобальным постсистолическим индексом ЛЖ ($r = 0,53, p < 0,001$), между индексом механической диссинергии ЛЖ и индексом механической дисперсии ($r = 0,37, p = 0,01$), глобальным постсистолическим индексом ЛЖ ($r = 0,52, p < 0,001$).

Зоны миокарда ЛЖ со снижением локальных пиковых систолических деформаций представляют области фиброза, рубца или воспаления [2]. Исследования ФВ ЛЖ и деформаций миокарда ЛЖ показали, что ФВ является характеристикой желудочкового выброса, то есть изменения объема желудочка, и не должна рассматриваться как единственная мера сократимости, так как может оставаться неизменной при значительно сниженной глобальной систолической функции ЛЖ, определяемой как уменьшение глобальной продольной систолической деформации [2, 4–5, 7]. GLS , вероятно, является самым надежным маркером, обнаруживающим изменения в механике миокарда ЛЖ; лучше, чем ФВ ЛЖ, коррелирует с очаговым и диффузным фиброзом миокарда ЛЖ, определенным по данным МРТ сердца [7]. Фиброз миокарда, особенно субэндокардиального слоя, имеющего продольную пространственную ориентацию, в большой мере определяет продольную сократительную функцию ЛЖ [2, 4–5, 7].

Фундаментальной морфологической основой ремоделирования сердца и ключевым фактором, способствующим развитию и прогрессии ХСН, является фиброз. Фиброз при ХСН с сохраненной фракцией выброса ($ХСН_{сохр.ФВ}$) развивается в ответ на воспалительные и метаболические (ожирение) триггеры, связан с эссенциальной АГ, старением, так как с возрастом увеличивается производство коллагена, а его деградация становится менее эффективной, вызван повышенным напряжением стенок ЛЖ вследствие диастолической и систолической желудочковой дисфункции. Таким образом, при $ХСН_{сохр.ФВ}$ формируется “хронический фиброзный ответ” [8]. Ишемический каскад начинается с гетерогенности кровотока в субэндокардиальном слое, где имеется преобладание продольно ориентированных кардиомиоцитов, поэтому аномалии продольных деформаций, такие как раннее систолическое растяжение, сниженная систолическая деформация и постсистолическое укорочение (тардокинез), регистрируются у паци-

ентов с ХСН и ишемией. Степень выраженности фиброза также имеет значительную корреляцию с нарушениями диастолической функции ЛЖ [9]. Области фиброза миокарда создают очаги с механической дисперсией и диссинергией сегментарных пиковых систолических деформаций [2, 3, 5]. Диссинхронизация процессов систолической деформации приводит к раннему систолическому растяжению одних сегментов и постсистолическому укорочению других сегментов. Постсистолическая деформация, формирующаяся после закрытия аортального клапана, является достоверным признаком региональной функциональной неоднородности, например при ишемии или фиброзе [5, 6]. В целом механическая дисперсия миокарда желудочков и GLS не только коррелируют со степенью очагового и диффузного фиброза миокарда, но являются независимыми предикторами желудочковых аритмий [4–8].

Функциональным и гемодинамическим последствием диссинхронизации локальных продольных систолических деформаций является задержка наступления и снижение глобальной релаксации в диастолу, повышение давления наполнения ЛЖ [5]. Повышенное давление наполнения ЛЖ, в свою очередь, является гемодинамическим механизмом прогрессии ХСН вследствие формирования легочной конгестии и посткапиллярной легочной гипертензии, ассоциируется с высокими типами ДД ЛЖ ($r = 0,9, p < 0,001$) [10], является важнейшим прогностическим маркером, указывающим на крайне неблагоприятный прогноз у пациентов с систолической или диастолической дисфункцией ЛЖ [11].

Таким образом, установленные нарушения продольных диастолических, глобальной и локальных систолических деформаций, механическая дисперсия и диссинергия ЛЖ приводят к снижению глобального пикового продольного смещения ЛЖ, значений GLS_{AVG} , являются ведущими функциональными аномалиями, взаимосвязанными с ДД ЛЖ, в особенности II типа, отражают глобальное ремоделирование сердца при развитии и прогрессии $ХСН_{сохр.ФВ}$.

Выводы

1. Ведущими функциональными аномалиями, взаимосвязанными с ДД ЛЖ при сохраненной ФВ ЛЖ, являются снижение продольных диастолических, регионарных и глобальной систолических деформаций, механическая дисперсия и диссинергия миокарда ЛЖ: определены статистически значимые коэффициенты корреляции между ДД ЛЖ и величинами ранней диастолической продольной деформации E базально-латерального сегмента ($r = 0,63, p < 0,001$), базально-септально-



го сегмента ($r = 0,63$, $p < 0,001$), отношениями ранних и поздних диастолических продольных деформаций E/A базально-латерального сегмента ($r = -0,67$, $p < 0,001$), базально-септального сегмента ЛЖ ($r = -0,55$, $p < 0,001$); между ДД I типа и индексом механической дисперсии миокарда ($r = 0,54$, $p < 0,001$); ДД II типа и индексом механической дисперсии ($r = 0,69$, $p < 0,001$), дельтой времени до пиковой продольной деформации ЛЖ ($r = 0,66$, $p < 0,001$), глобальным постсистолическим индексом ($r = 0,58$, $p < 0,001$), индексом механической диссинергии ЛЖ ($r = 0,33$, $p = 0,02$), глобальным пиковым продольным смещением ЛЖ ($r = -0,55$, $p < 0,001$) и GLS_{AVG} ($r = 0,63$, $p < 0,001$). Не выявлены взаимосвязи ДД и аномалий радиальных и циркулярных систолических деформаций ЛЖ.

2. Установлены значения показателей STE, характеризующих продольные диастолические деформации ЛЖ и являющихся прогностическим для ДД ЛЖ: значения ранней диастолической продольной деформации E базально-латерального сегмента ЛЖ $> -6,75\%$ (чувствительность 81,7%, специфичность 88,9%), базально-септального сегмента ЛЖ $> -5,22\%$ (чувствительность 85,0%, специфичность 88,9%), отношения ранней и поздней диастолических продольных деформаций E/A базально-латерального сегмента $\leq 0,91$ (чувствительность 85,0%, специфичность 88,9%), базально-септального сегмента $\leq 0,69$ (чувствительность 78,3%, специфичность 85,2%).

3. При ДД ЛЖ I типа (замедленной релаксации) индекс механической дисперсии миокарда ЛЖ определен $> 49,34$ мс (чувствительность 75,0%, специфичность 83,3%), дельта времени до пиковой продольной деформации ЛЖ > 157 мс (чувствительность 74,3%, специфичность 83,3%).

4. Впервые разработаны показатели STE, являющиеся прогностическими для ДД II типа (псевдонормализации) и характеризующие механическую дисперсию и диссинергию ЛЖ: индекс механической дисперсии ЛЖ $> 49,34$ мс (чувствительность 88,2%, специфичность 83,3%), дельта времени до пиковой продольной деформации > 136 мс (чувствительность 88,2%, специфичность 76,7%), глобальный постсистолический индекс $> 6,24\%$ (чувствительность 70,6%, специфичность 90,0%), индекс механической диссинергии $> 4,60\%$ (чувствительность 70,6%, специфичность 70,0%), а также глобальное пиковое продольное смещение ЛЖ $\leq 9,88$ мм (чувствительность 82,4%, специфичность 73,3%).

5. Установлено прогностическое для диастолической дисфункции ЛЖ II типа значение GLS_{AVG} ($> -18,5\%$) с высокими показателями надежно-

сти – чувствительности (88,2%) и специфичности (83,3%).

Список литературы

1. Жерко О.М. Клиническая трансторакальная эхокардиография. Минск: Альфакнига, 2016. 832 с.
2. Collier P., Phelan D., Klein A.A. Test in Context: Myocardial Strain Measured by Speckle-Tracking Echocardiography. *J. Am. Coll. Cardiol.* 2017; 69: 1043–1056. <https://doi.org/10.1016/j.jacc.2016.12.012>
3. Nagueh S.F., Smiseth O.A., Appleton C.P., Byrd B.F. 3rd, Dokainish H., Edvardsen T., Flachskampf F.A., Gillebert T.C., Klein A.L., Lancellotti P., Marino P., Oh J.K., Popescu B.A., Waggoner A.D. 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. *JASE.* 2016; 29: 277–314. <https://doi.org/10.1016/j.echo.2016.01.011>
4. Matsuzoe H., Tanaka H., Matsumoto K., Toki H., Shimoura H., Ooka J., Sano H., Sawa T., Motoji Y., Mochizuki Y., Ryo K., Fukuzawa K., Yoshida A., Hirata K. Left ventricular dyssynergy and dispersion as determinant factors of fatal ventricular arrhythmias in patients with mildly reduced ejection fraction. *Eur. Heart J. Cardiovasc. Imaging.* 2016; 17: 334–342. <https://doi.org/10.1093/ehjci/jev172>
5. Otto C. The practice of clinical echocardiography. 5nd ed. Philadelphia, Pennsylvania: Elsevier, 2017. 965 p.
6. Voigt J.U., Pedrizzetti G., Lysyansky P., Marwick T.H., Houle H., Baumann R., Pedri S., Ito Y., Abe Y., Metz S., Song J.H., Hamilton J., Sengupta P.P., Kolias T.J., d'Hooge J., Aurigemma G.P., Thomas J.D., Badano L.P. 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: 1–11. <https://doi.org/10.1093/ehjci/jeu184>
7. Ćelutkienė J., Plymen C.M., Flachskampf F.A., de Boer R.A., Grapsa J., Manka R., Anderson L., Garbi M., Barberis V., Filardi P.P., Gargiulo P., Zamorano J.L., Lainscak M., Seferovic P., Ruschitzka F., Rosano G.M.C., Nihoyannopoulos P. 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; 20: 1615–1633. <https://doi.org/10.1002/ejhf.1330>
8. Su M.Y., Lin L.Y., Tseng Y.H., Chang C.C., Wu C.K., Lin J.L., Tseng W.Y. CMR-verified diffuse myocardial fibrosis is associated with diastolic dysfunction in HFpEF. *JACC Cardiovasc. Imaging.* 2014; 7: 991–997. <https://doi.org/10.1016/j.jcmg.2014.04.022>
9. de Boer R.A., De Keulenaer G., Bauersachs 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. *EJHF.* 2019; 21: 272–285. <https://doi.org/10.1002/ejhf.1406>
10. Жерко О.М. Давление наполнения левого желудочка как гемодинамический механизм прогрессии хронической сердечной недостаточности. *Здравоохранение.* 2019. 10: 5–9.



11. Redfield M.M., Jacobsen S.J., Burnett J.C. Jr, Mahoney D.W., Bailey K.R., Rodeheffer R.J. Burden of systolic and diastolic ventricular dysfunction in the community: appreciating the scope of the heart failure epidemic. *JAMA*. 2003; 289 (2): 194–202. <https://doi.org/10.1001/jama.289.2.194>

References

- Zherko O.M. Clinical transthoracic echocardiography. Minsk: Al'fakniga, 2016. 832 p. (In Russian)
- Collier P., Phelan D., Klein A.A. Test in Context: Myocardial Strain Measured by Speckle-Tracking Echocardiography. *J. Am. Coll. Cardiol.* 2017; 69: 1043–1056. <https://doi.org/10.1016/j.jacc.2016.12.012>
- Nagueh S.F., Smiseth O.A., Appleton C.P., Byrd B.F. 3rd, Dokainish H., Edvardsen T., Flachskampf F.A., Gillebert T.C., Klein A.L., Lancellotti P., Marino P., Oh J.K., Popescu B.A., Waggoner A.D. 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. *JASE*. 2016; 29: 277–314. <https://doi.org/10.1016/j.echo.2016.01.011>
- Matsuzoe H., Tanaka H., Matsumoto K., Toki H., Shimoura H., Ooka J., Sano H., Sawa T., Motoji Y., Mochizuki Y., Ryo K., Fukuzawa K., Yoshida A., Hirata K. Left ventricular dyssynergy and dispersion as determinant factors of fatal ventricular arrhythmias in patients with mildly reduced ejection fraction. *Eur. Heart J. Cardiovasc. Imaging*. 2016; 17: 334–342. <https://doi.org/10.1093/ehjci/jev172>
- Otto C. The practice of clinical echocardiography. 5nd ed. Philadelphia, Pennsylvania: Elsevier, 2017. 965 p.
- Voigt J.U., Pedrizzetti G., Lysyansky P., Marwick T.H., Houle H., Baumann R., Pedri S., Ito Y., Abe Y., Metz S., Song J.H., Hamilton J., Sengupta P.P., Kolias T.J., d'Hooge J., Aurigemma G.P., Thomas J.D., Badano L.P. 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: 1–11. <https://doi.org/10.1093/ehjci/jeu184>
- Čelutkienė J., Plymen C.M., Flachskampf F.A., de Boer R.A., Grapsa J., Manka R., Anderson L., Garbi M., Barberis V., Filardi P.P., Gargiulo P., Zamorano J.L., Lainscak M., Seferovic P., Ruschitzka F., Rosano G.M.C., Nihoyannopoulos P. 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; 20: 1615–1633. <https://doi.org/10.1002/ejhf.1330>
- Su M.Y., Lin L.Y., Tseng Y.H., Chang C.C., Wu C.K., Lin J.L., Tseng W.Y. CMR-verified diffuse myocardial fibrosis is associated with diastolic dysfunction in HFpEF. *JACC Cardiovasc. Imaging*. 2014; 7: 991–997. <https://doi.org/10.1016/j.jcmg.2014.04.022>
- de Boer R.A., De Keulenaer G., Bauersachs 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. *EJHF*. 2019; 21: 272–285. <https://doi.org/10.1002/ejhf.1406>
- Zherko O.M. Left ventricular filling pressure as a hemodynamic mechanism of the progression of chronic heart failure. *Zdravookhraneniye = Healthcare*. 2019; 10: 5–9. (In Russian)
- Redfield M.M., Jacobsen S.J., Burnett J.C. Jr, Mahoney D.W., Bailey K.R., Rodeheffer R.J. Burden of systolic and diastolic ventricular dysfunction in the community: appreciating the scope of the heart failure epidemic. *JAMA*. 2003; 289 (2): 194–202. <https://doi.org/10.1001/jama.289.2.194>

Для корреспонденции*: Жерко Ольга Михайловна – 220013 Республика Беларусь, Минск, ул. П. Бровки, 3, корпус 3. БелМАПО, кафедра ультразвуковой диагностики. Тел.: +375 (17) 290-00-96. E-mail: zherco@mail.ru

Жерко Ольга Михайловна – канд. мед. наук, доцент, заведующая кафедрой ультразвуковой диагностики Белорусской медицинской академии последиplomного образования, Минск, Беларусь. <https://orcid.org/0000-0001-5752-0988>

Шкробнева Элина Ивановна – заведующая отделением функциональной диагностики Минского научно-практического центра хирургии, трансплантологии и гематологии, Минск, Беларусь. <https://orcid.org/0000-0001-9641-4846>

Contact*: Olga M. Zherko – 3, bld. 3, P. Brovka str., 220013, Minsk, Republic of Belarus. Belarusian Medical Academy of Postgraduate Education, Department of Ultrasound Diagnostics. Phone: +375 (17) 290-00-96. E-mail: zherco@mail.ru

Olga M. Zherko – Cand. of Sci. (Med.), Associate Professor, Head of the Department of Ultrasound Diagnostics of Belarusian Medical Academy of Postgraduate Education, Minsk, Belarus. <https://orcid.org/0000-0001-5752-0988>

Elina I. Shkrebneva – Head of the functional diagnostics department of Minsk Scientific and Practical Center for Surgery, Transplantology and Hematology, Minsk, Belarus. <https://orcid.org/0000-0001-9641-4846>