

ISSN 1607-0771(Print); ISSN 2408-9494 (Online)

<https://doi.org/10.24835/1607-0771-021>

Анализ значимости эхокардиографических показателей дисфункции правого желудочка для прогнозирования исходов сердечной недостаточности со сниженной фракцией выброса левого желудочка

**В.И. Скидан^{1*}, Е.Н. Павлюкова², Г.П. Нарциссова²,
В.М. Воронков³, Д.А. Астапов², Е.В. Россейкин¹**

¹ ФГБУ “Федеральный центр сердечно-сосудистой хирургии” Минздрава России;
680009 Хабаровск, ул. Краснодарская, 2в, Российская Федерация

² ФГБУ “Национальный медицинский исследовательский центр имени академика
Е.Н. Мешалкина” Минздрава России; 630055 Новосибирск, ул. Речкуновская, д. 15,
Российская Федерация

³ ФГБОУ ВО “Дальневосточный государственный медицинский университет”
Минздрава России; 680000 Хабаровск, ул. Муравьева-Амурского, д. 35,
Российская Федерация

Скидан Виктория Игоревна – канд. мед. наук, врач ультразвуковой диагностики клинко-диагностического отделения ФГБУ “Федеральный центр сердечно-сосудистой хирургии” Минздрава России, Хабаровск. <https://orcid.org/0000-0002-2627-3272>

Павлюкова Елена Николаевна – доктор мед. наук, профессор, заведующая научно-исследовательским отделом функционально диагностики ФГБУ “НМИЦ имени академика Е.Н. Мешалкина” Минздрава России, Новосибирск. <https://orcid.org/0000-0002-3081-9477>

Нарциссова Галина Петровна – доктор мед. наук, профессор, врач функциональной диагностики отделения УЗД и ФД; ведущий научный сотрудник отдела лучевой и функциональной диагностики ФГБУ “НМИЦ имени академика Е.Н. Мешалкина” Минздрава России, Новосибирск. <https://orcid.org/0000-0001-6322-1087>

Воронков Владислав Маркович – студент VI курса лечебного факультета ФГБОУ ВО “Дальневосточный государственный медицинский университет” Минздрава России, Хабаровск. <https://orcid.org/0009-0009-2009-7501>

Астапов Дмитрий Александрович – доктор мед. наук, заместитель генерального директора по клинической работе ФГБУ “НМИЦ имени академика Е.Н. Мешалкина” Минздрава России, Новосибирск. <https://orcid.org/0000-0003-1130-7772>

Россейкин Евгений Владимирович – доктор мед. наук, профессор, главный врач ФГБУ “Федеральный центр сердечно-сосудистой хирургии” Минздрава России, Хабаровск. <https://orcid.org/0000-0003-0784-2246>

Контактная информация*: Скидан Виктория Игоревна – e-mail: skivi5@yandex.ru

Цель исследования: определить ультразвуковые показатели нарушения функции правых камер сердца, повышающие прогностическую информацию рекомендованных параметров дисфункции левого желудочка (ЛЖ) у больных с сердечной недостаточностью со сниженной фракцией выброса (СНнФВ).

Материал и методы. В проспективное исследование включено 79 пациентов с СНнФВ ЛЖ с клиническими проявлениями хронической сердечной недостаточности функционального класса III по Нью-Йоркской кардиологической ассоциации (СН ФК III по NYHA) у 52 (65,8%) больных и ФК IV по NYHA у 27 (34,1%). Первичной конечной точкой выбраны летальный исход в сроки наблюдения до 3 лет в период ожидания трансплантации сердца.

Результаты. Общая смертность составила 33 (41,7%) пациента, в течение 1-го года наблюдения – 17 (21,5%) больных. По результатам регрессионного анализа ультразвуковыми независимыми предикторами неблагоприятного прогноза стали фракция выброса ЛЖ при трехмерной эхокардиографии (3DE ФВЛЖ), $p = 0,014$; глобальная продольная деформация ЛЖ (GLS LV), $p = 0,010$ и базального сегмента межжелудочковой перегородки (IVSLS BS), $p = 0,012$; средняя продольная деформация базального сегмента свободной стенки правого желудочка (ПЖ) (FWLS BS RV), $p = 0,003$. Изменения конфигурации и дилатация полости ЛЖ, увеличение конечного диастолического давления ЛЖ, нарушение сократимости и деформационных свойств миокарда ЛЖ могут влиять на функцию ПЖ через общую межжелудочковую перегородку (МЖП). Дилатация ПЖ за счет увеличения конечной диастолической площади (КДП ПЖ) более 30 см² ($p = 0,012$) и конечной систолической площади (КСП ПЖ) более 25 см² ($p = 0,001$), увеличение объема правого предсердия (3DE ОПП) более 100 мл ($p = 0,036$) и уменьшение процента инспираторного коллапсирования нижней полой вены (% КНПВ) менее 30% ($p = 0,005$) продемонстрировали прогностическую значимость у наблюдаемых пациентов. Снижение деформационных свойств ПЖ за счет продольного компонента и нарушение деформации базального сегмента вносит больший вклад в дисфункцию ПЖ (FWLS BS, % < -15% ($p < 0,001$)).

Заключение. Нарушение функции ПЖ у больных с СНнФВ ЛЖ является прогностически неблагоприятным фактором, независимо связанным с имеющейся дисфункцией ЛЖ. Наиболее значимыми ультразвуковыми маркерами прогноза выживаемости пациентов с СНнФВ ЛЖ и дисфункцией ПЖ являются показатели деформации миокарда желудочков. Ремоделирование правых камер и нарушение функции ПЖ является пусковым механизмом разобщения ПЖ и легочной артерии, что в конечном итоге приводит к неблагоприятным исходам.

Ключевые слова: сердечная недостаточность; глобальная продольная деформация миокарда; правый желудочек; фракция выброса; дисфункция миокарда; предикторы прогноза

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии возможных конфликтов интересов.

Финансирование. Исследование проведено без спонсорской поддержки.

Цитирование: Скидан В.И., Павлюкова Е.Н., Нарциссова Г.П., Воронков В.М., Астапов Д.А., Россейкин Е.В. Анализ значимости эхокардиографических показателей дисфункции правого желудочка для прогнозирования исходов сердечной недостаточности со сниженной фракцией выброса левого желудочка. *Ультразвуковая и функциональная диагностика*. 2024; 2: 10–29. <https://doi.org/10.24835/1607-0771-021>

ВВЕДЕНИЕ

Оптимизация диагностики при выборе ориентированной на пациента тактики лечения сердечной недостаточности (СН) со сниженной фракцией выброса (СНнФВ) левого желудочка (ЛЖ), включающей медикаментозную терапию, хирургические вмешательства и имплантацию внутрисердечных устройств, остается сложной задачей [1]. Изменение гемодинамики у пациентов с СН связано с компенсаторными возможностями

правых камер сердца, функция которых становится независимым важным предиктором смертности. При этом дисфункция правого желудочка (ПЖ) более выражена при СНнФВ ЛЖ, тесно взаимосвязана со степенью левожелудочковой СН, не зависит напрямую от артериального пульмонального контакта и определяется при любой степени легочной гипертензии (ЛГ) [2].

Согласно ленточной теории строения сердца Francisco Torrent-Guasp, миокард

ПЖ и ЛЖ может быть представлен как непрерывная мышечная лента, которая разворачивается вдоль межжелудочковой борозды от фиброзного кольца легочной артерии (ЛА) до фиброзного кольца аорты [3, 4]. При этом механика сокращения ПЖ реализуется в трех направлениях: продольном, радиальном и переднезаднем, где важную роль играет: 1) укорочение миокарда в продольном направлении с подтягиванием кольца трикуспидального клапана к верхушке; 2) движение вовнутрь свободной стенки ПЖ; 3) выпячивание межжелудочковой перегородки (МЖП) внутрь ПЖ во время сокращения ЛЖ и растягивание свободной стенки ПЖ над МЖП [5]. При СН степень нарушения механики продольного сокращения ЛЖ и ПЖ определяет прогноз течения заболевания [6–8]. Внедрение в клиническую практику трехмерной эхокардиографии (3DE) и технологии оценки деформации ткани “След пятна” (Speckle Tracking Imaging-2D Strain) открывает новые перспективы в изучении прогностической значимости контрактильности ПЖ, поскольку анализ формы, объемов и сократительной способности ПЖ неинвазивными методами затруднен вследствие ряда анатомических особенностей и механики сокращения ПЖ [9].

Цель исследования: определить ультразвуковые показатели нарушения функции правых камер сердца, повышающие прогностическую информацию рекомендованных параметров дисфункции ЛЖ у больных с СНнФВ.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

Анализ выполнен у 79 пациентов с СНнФВ ЛЖ в возрасте от 25 до 77 лет, из них женщин – 15 (18,9%), мужчин – 64 (81,0%). Клинические проявления хронической СН соответствовали функциональному классу (ФК) III по Нью-Йоркской кардиологической ассоциации (NYHA) у 52 (65,8%) больных, ФК IV по NYHA у 27 (34,1%). Дизайн исследования – проспективное длительное сравнительное исследование. Длительность наблюдения составила 2,8 года (межквартильный интервал (IQR) 0,3–7,0 года). Первичной конечной точкой явился летальный исход в течение 3 лет наблюдения в период ожидания

трансплантации сердца. За время исследования в течение 3 лет общая смертность составила 33 (41,7%) пациента, при этом в течение первого года умерли 17 (21,5%) больных, в последующие 5 лет – 41 (51,8%) пациент и на момент окончания наблюдения через 7 лет количество выживших составило 21 (26,5%) человек, включающих пациентов после успешных реваскуляризаций, реконструктивных операций на клапанах сердца и респондеров на ресинхронизирующую терапию. В зависимости от исхода пациенты разделены на группы: 1-ю группу составили 46 пациентов, выживших в течение трехлетнего срока наблюдения, во 2-ю группу включили 33 больных, умерших в течение трехлетнего срока наблюдения.

Основные характеристики исследуемой группы и подгрупп представлены в табл.1. В генезе СНнФВ ЛЖ в основном преобладали пациенты с ИБС, ишемическая этиология была представлена кардиомиопатиями, поражением миокарда воспалительного генеза, клапанными пороками сердца в фазе декомпенсации. При сравнении исследуемых групп среди пациентов 2-й группы по сравнению с 1-й наблюдали более высокий ФК IV по NYHA, чаще диагностировали артериальную гипертензию, гипертрофию миокарда ЛЖ и пароксизмальную желудочковую тахикардию. Медикаментозная терапия у этой категории исследуемых чаще включала β -адреноблокаторы и блокаторы рецепторов АТII пациентов.

Внутрисердечные устройства электрической стимуляции и механической поддержки кровообращения были имплантированы 70 (88,6%) больным, из них аппараты ресинхронизирующей терапии (СРТД) – 39 (49,3%), искусственные кардиовертеры-дефибрилляторы (ИКД) – 26 (32,9%), аппараты интраоперационной механической поддержки кровообращения (МПК) применены у 47 (59,4%) наблюдаемых. В рамках хирургической коррекции СНнФВ ЛЖ у пациентов 2-й группы по сравнению с больными 1-й группы чаще использовались методы МПК и СРТД.

Возрастные и гендерные признаки, лабораторные и ЭКГ-данные, коморбидный фон статистически значимо в группах исследуемых пациентов с СНнФВ ЛЖ не различались (см. табл. 1).

Таблица 1. Демографическая и клинико-анамнестическая характеристика пациентов с СНнФВ ЛЖ
Table 1. Demographic and clinical characteristics of patients with HFrEF LV

Показатель	Пациенты с СНнФВ ЛЖ (n = 79)		
	n = 79	1-я группа (n = 46)	2-я группа (n = 33)
Возраст, годы	56,3 ± 12,6	56,8 ± 14,3	53,4 ± 12,9
Пол:			
женский, n (%)	15 (18,9%)	8 (17,3%)	7 (21,1%)
мужской, n (%)	64 (81,1%)	38 (82,6%)	26 (78,9%)
Функциональный класс СН по NYHA:			
III	52 (65,8%)	41 (89,2%)	11 (33,3%)*
IV	27 (34,2%)	5 (10,8%)	22 (66,7%)**
Наличие стенокардии ФК III, IV	17 (21,5%)	13 (28,2%)	4 (12,1%)
Генез СН :			
ишемический, n (%)	48 (60,8%)	28 (60,8%)	20 (60,6%)
ОИМ, ПИКС, n (%)	10 (12,6%)	6 (13,0%)	4 (12,1%)
аневризма ЛЖ, n (%)	21 (26,5%)	9 (19,5%)	12 (36,3%)
неишемический, n (%)	31 (39,2%)	18 (41,3%)	13 (39,3%)
ДКМП, n (%)	7 (8,8%)	3 (6,5%)	4 (12,1%)
миокардит, n (%)	4 (3,6%)	1 (2,1%)	3 (9,0%)
ППС, n (%)	19 (24,0%)	14 (30,4%)	5(15,1%)
АКМП, n (%)	1 (1,2%)	1(2,1%)	-
ГЛЖ , n (%)	36 (45,5%)	16 (34,7%)	20 (60,6%)*
Площадь поверхности тела, м ²	2,08 ± 0,32	2,07 ± 0,34	2,08 ± 0,29
Масса тела, кг	86,7 ± 21,9	87,7 ± 23,3	85,3 ± 19,1
Артериальное давление			
САД, мм рт.ст.	107,8 ± 20,6	108,2 ± 21,6	104,3 ± 23,2
ДАД, мм рт.ст.	59,0 ± 14,7	58,7 ± 13,6	58,1 ± 17,3
ЧСС в минуту	82,6 ± 15,2	80,6 ± 17,1	82,2 ± 20,6
NTProBNP, пг/мл	4332 (6712; 2396)	3939 (5647; 2119)	4736 (9659; 2477)
Медикаментозная терапия на момент включения пациентов в стационаре			
Ингибиторы АПФ, n (%)	70 (88,6%)	38 (82,6%)	32 (96,9%)
Диуретики, n (%)	67 (84,8%)	34 (73,9%)	33 (100,0%)
β-адреноблокаторы, n (%)	58 (73,4%)	26 (56,5%)	32 (96,9%) **
Блокаторы рецепторов АТII, n (%)	36 (45,5%)	15 (32,6%)	21(63,3%) *
Антагонисты минералокортикоидных рецепторов, n (%)			
Антагонисты кальция, n (%)	33 (41,7%)	15 (26,0%)	18 (63,3%)
Периферические вазодилататоры, n (%)	21 (26,5%)	15 (32,6%)	6 (18,1%)
	18 (22,7%)	7 (15,2%)	11 (33,3%)
<i>Первичная конечная точка</i>			
Летальный исход в течение 3 лет	33 (41,7%)	—	33 (100%)
Летальный исход в течение первого года	17 (21,5%)	—	17 (21,5%)
Методы интраоперационной МПК, n (%)	47 (59,4%)	16(34,7%)	31(93,9%) **
СРТД, n (%)	39 (49,3%)	14 (30,4%)	25 (75,7%) **
ИКД, n (%)	26 (32,9%)	12 (26,0%)	14 (42,4%)
Реваскуляризация миокарда (АКШ, МКШ, КАПС), n (%)	46(62,0%)	26 (56,5%)	20 (60,6%)
Пластика и протезирование клапанов, n (%)	25 (31,6%)	14 (30,4%)	11 (33,3%)

Таблица 1 (окончание).

Table 1 (end).

Показатель	Пациенты СНнФВ ЛЖ (n=79)		
	(n = 79)	группа 1 (n = 46)	группа 2 (n = 33)
Хирургическая реконструкция полости ЛЖ, n (%)	21 (26,5%)	9 (19,5%)	12 (36,3%)
Артериальная гипертония в анамнезе, n (%)	35 (44,3%)	15 (32,6%)	20 (60,6%) *
Фибрилляция предсердий, n (%)	22 (27,8%)	10 (21,7%)	12 (36,3%)
Желудочковые тахикардии, n (%)	42 (53,1%)	17 (36,9%)	25 (75,7%) **
Синдром ночного апноэ, n (%)	14 (17,7)	9 (19,5%)	5 (15,1%)
Атеросклероз периферических артерий, n (%)	19 (24,0)	8 (17,3%)	11 (33,3%)
ХОБЛ, ХНЗЛ	15 (18,9)	7 (15,2%)	8 (24,2%)
ХБП СЗ–5, n (%)	21 (26,5%)	13 (28,2%)	8 (24,2%)

Примечание. * $p < 0,05$; ** $p < 0,001$; $M \pm SD$, медиана (25–75-й процентиля). Процент от категорий. СНнФВ – сердечная недостаточность со сниженной фракцией выброса ЛЖ менее 40%; ХСН ФК III–IV по NYHA – хроническая сердечная недостаточность, функциональный класс III–IV по Нью-Йоркской классификации; ОИМ – острый инфаркт миокарда; ПИКС – постинфарктный кардиосклероз; ДКМП – дилатационная кардиомиопатия; ППС – приобретенный порок сердца; АКМП – алкогольная кардиомиопатия; ГЛЖ – гипертрофия миокарда левого желудочка; САД – систолическое артериальное давление; ДАД – диастолическое артериальное давление; ЧСС – частота сердечных сокращений; NTProBNP – мозговой натрийуретический пептид; АПФ – ангиотензинпревращающий фермент; АТII – ангиотензин II; МПК – механическая поддержка кровообращения; СРТД – сердечная ресинхронизирующая терапия и дефибрилляция; ИКД – искусственный кардиовертер-дефибриллятор; АКШ – аортокоронарное шунтирование; МКШ – маммарокоронарное шунтирование; КАПС – ангиопластика со стентированием коронарных артерий; ХОБЛ – хроническая обструктивная болезнь легких; ХНЗЛ – хронические неспецифические заболевания легких; ХБП СЗ–5 – хроническая болезнь почек стадия.

Эхокардиография (ЭхоКГ) выполнялась всем пациентам согласно рекомендациям Европейского общества сердечно-сосудистой визуализации (ESCVI) и Американского общества эхокардиографии (ASE) [9]. Анализ проводился слепым методом без информации о клинических данных пациентов и результатах обследования. База данных в виде видеороликов создана с помощью трехмерного датчика из апикального и (или) субкостального доступов с использованием модифицированных и фокусированных позиций визуализации ПЖ индивидуально для каждого пациента в зависимости от лучшего акустического окна.

Исследования выполнены на ультразвуковых системах экспертного класса Philips Epic 7 (Philips) и Vivid E95 (GE Healthcare) с архивированием данных на платформе рабочих станций (TOMTEC-ARENA*1.2 и EchoPAC, версия 204). Геометрически сложные модели ПЖ и субоптимальные для обработки изображения ПЖ в режиме двух-

мерной ЭхоКГ (2DE) равноценно включались в исследование для визуализации в режиме 3DE и последующего параметрического анализа. Все изображения прошли обработку доступными программами компьютерной графики, разработанными специально для оценки кардиального объема в трехмерном измерении в режиме реального времени: TomTec (TomTec Imaging Systems GmbH) и EchoPAC (GE Healthcare). Кардиальный объем получали методом дисков путем суммирования площадей каждого среза ПЖ, умноженных на толщину срезов. Анализ деформации ПЖ и его свободной стенки проведен в двухмерном режиме с частотой кадров 60–80 Гц с использованием платформы рабочей станции TomTec [10–12].

По результатам 2DE-анализа оценивали размеры ПЖ: RV1 – базальный размер на уровне клапана; RV2 – средний на уровне папиллярных мышц; RV3 – базально-апикальный размер; RVOT PLAX –эндокардиальный размер ВТПЖ в позиции по длин-

ной оси; RVOT prox PSAX – проксимальный отдел ВТПЖ; RVOT distal PSAX – дистальный отдел ВТПЖ, а также параметры функции ПЖ, правого предсердия (ПП) и легочной артерии (ЛА): TAPSE – систолическая скорость смещения трикуспидального кольца; СДЛА (SPAP), мм рт.ст. – систолическое давление в ЛА, TAPSE/SPAP мм/мм рт.ст. – отношение сопряжения (разобщения) ПЖ и ЛА; 2DE FAC – фракция изменения площади ПЖ в %; S' – систолическая скорость смещения трикуспидального кольца в режиме тканевого доплера; Septal S' – скорость движения ПЖ базального сегмента МЖП в режиме тканевого доплера; GLS RV – глобальная продольная деформация миокарда ПЖ; IVSLS BS – продольная деформация базального сегмента МЖП; FWLG – глобальная продольная деформация миокарда свободной стенки ПЖ; 3DEF – объемы и функция ПЖ в трехмерном измерении; ИнОПП – индекс объема правого предсердия; ФО ПП – фракция опорожнения правого предсердия; % КНПВ – процент коллабироваия нижней поллой вены (НПВ) на вдохе [2, 9].

Измерения и расчеты глобальной продольной деформации ткани миокарда ПЖ (GLS) и средней деформации свободной стенки ПЖ по сегментам (FWLS) проводились в 4-камерной позиции с помощью автоматической опции программы, принимая в качестве нормальных величин усредненное отрицательное значение RV GLS –20% и выше (в абсолютном значении) [9, 13].

Статистический анализ проведен с помощью программного пакета JMP Pro 14.1 (SAS Institute, Chicago, IL) и MedCalc Statistical Software 22.007 (MedCalc Software Ltd, Ostend, Belgium MedCalc). Для определения распределения количественных данных использовался критерий Шапиро–Уилка. Результаты представлены в виде $M \pm SD$, где M – среднее арифметическое, SD – среднеквадратичное отклонение, медианы Me, нижнего и верхнего квартилей Q1–Q2, минимального и максимального значений. Категориальные переменные представлены в виде абсолютных чисел и процентов. Номинальные переменные сравнивались с помощью критерия χ^2 Пирсона. Сравнения между группами проводились с использованием непарного t-критерия Стьюдента или критерия Манна–Уитни.

Проведен корреляционный анализ с расчетом коэффициента ранговой корреляции Спирмена для ряда параметров ЭхоКГ и лабораторных показателей. Для выявления предикторов летальности при поражении ПЖ были проведены однофакторный и многофакторный регрессионные анализы. Анализ выживаемости выполнен с помощью модели пропорциональных рисков Кокса, дополненных кривыми Каплана–Мейера, где различия между группами при анализе комбинированного исхода и смертности рассчитывались выше и ниже медианы [14–17]. Статистическая значимость была определена как значение $p < 0,05$.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Основные ЭхоКГ-показатели ЛЖ и левого предсердия (ЛП) в зависимости от сроков наблюдения пациентов и смертности представлены в табл. 2. При анализе показателей внутрисердечной гемодинамики ЛЖ в двухмерной и при трехмерной визуализации были выявлены значимые различия КДО (2DE, $p < 0,001$; 3DE, $p = 0,001$ соответственно) и КСО ЛЖ (2DE, $p < 0,001$; 3DE, $p < 0,001$ соответственно) у пациентов 1-й группы по сравнению со 2-й группой. В группе больных, умерших в течение 3 лет, ФВ ЛЖ была статистически значимо ниже ($p = 0,006$), а индексированный объем ЛП (ИнОЛП) выше ($p = 0,005$) по сравнению с выжившими пациентами, вместе с тем у пациентов 2-й группы значения GLS LV, % были достоверно ниже, чем у пациентов 1-й группы в период наблюдения.

Данные табл. 3 демонстрируют значимые различия результатов мультипараметрической оценки функции ПЖ между пациентами обеих групп. Снижение глобальной продольной деформации миокарда ПЖ выявлено в обеих группах. Вместе с тем у умерших в течение 3 лет больных значения FWLS RV и FWLS BS были статистически значимо ниже по сравнению с выжившими, GLS RV обеих групп достоверно не различался ($p = 0,0507$), однако наблюдалась тенденция к большему снижению глобальной деформации ПЖ. В свою очередь, дилатация ПП отмечена у лиц, относящихся ко 2-й группе, где выявлено увеличение ИнОПП мл/м². Эктазия НПВ обнаружена в обеих группах, процент

Таблица 2. Показатели ЭхоКГ левых отделов сердца в двухмерном и трехмерном режиме визуализации у пациентов с СНнФВ ЛЖ**Table 2.** Parameters of left heart echocardiography in HFrEF patients in 2D-mode and 3D-mode

Параметры (n = 79)	1-я группа (n = 46) 2-я группа (n = 33)	Медиана	Межквартильный интервал	Минимальное – максимальное значения	Пара, имеющая значимые различия Z; p
КДО ЛЖ, мл	1–	192,7	74,9–289,0	66,3–290,0	Zadj = 3,624 p = 0,0003
2DE BP	2–	279,4	116,2–695,8	114,0–713,3	
КСО ЛЖ, мл	1–	140,5	34,7–242,4	29,7–245,2	Zadj = 3,641 p = 0,0003
2DE BP	2–	205,2	61,7–541,8	60,7–559,8	
УО, мл	1–	52,9	33,8–99,7	33,4–106,4	Zadj = 2,051 p = 0,0403
2DE BP	2–	62,5	28,4–196,2	26,1–208,0	
ФВ, %	1–	28,0	16,8–35,0	15,4–35,4	Zadj = 1,530 p = 0,1261
2DE BP	2–	25,3	8,4–35,0	8,1–35,2	
КДО ЛЖ	1–	211,0	80,8–370,0	116,4–701,4	Zadj = 3,126 p = 0,0018
3DE, мл	2–	279,0	116,4–53,0	61,1–373,2	
КСО ЛЖ	1–	151,1	41,8–277,5	31,4–300,4	Zadj = 3,453 p = 0,0006
3DE, мл	2–	228,0	60,9–482,0	58,1–502,2	
УО ЛЖ	1–	58,1	27,8–127,5	25,4–137,0	Zadj = 1,724 p = 0,0847
3DE, мл	2–	68,5	26,9–186,0	24,9–199,2	
ФВ ЛЖ, %	1–	29,4	13,8–35,5	11,4–35,8	Zadj = -2,712 p = 0,0067
3DE	2–	22,9	9,7–35,0	9,2–35,2	
ЛП, мл	1–	81,4	40,8–173,5	39,4–204,8	Zadj = 1,746 p = 0,0808
3DE	2–	97,9	36,7–217,0	34,2–220,2	
ИНОЛП, мл/м ²	1–	28,6	10,4–101,5	9,6–108,8	Zadj = 2,821 p = 0,0048
	2–	44,9	10,7–99,1	9,8–105,2	
ФО ЛП, %	1–	33,6	8,4–53,5	8,6–58,8	Zadj = -0,532 p = 0,5945
	2–	32,0	5,7–58,1	5,8–64,2	
ММ ЛЖ, г	1–	347,6	204,4–594,5	191,6–665,8	Zadj = 1,574 p = 0,1155
	2–	382,0	147,7–832,1	118,8–838,2	
ИПМ ЛЖ	1–	0,347	0,204–0,594	0,191–0,665	Zadj = 1,574 p = 0,1155
	2–	0,382	0,147–0,832	0,118–0,838	
GLS LV, %	1–	-7,6	(-1,8) – (-2,8)	(-4,0) – (-14,0)	Zadj = 2,973 p = 0,0030
	2–	-5,0	(+0,5) – (-12,7)	(+1,0) – (-13,0)	

Примечание. 1-я группа – пациенты, выжившие в течение 3-летнего срока наблюдения; 2-я группа – пациенты, умершие в течение 3-летнего срока наблюдения; КДО – конечный диастолический объем; КСО – конечный систолический объем; УО – ударный объем; ФВ ЛЖ – фракция выброса левого желудочка; 2DE-BP – двухмерная эхокардиография биплан по Симпсону; 3DE – трехмерная эхокардиография; ЛП – левое предсердие; ИНО ЛП – индекс объема ЛП; ФО ЛП – фракция опорожнения левого предсердия; ММ ЛЖ – масса миокарда левого желудочка; ИПМ ЛЖ – индекс производительности миокарда левого желудочка; GLS LV – глобальная продольная деформация ЛЖ.

Таблица 3. Показатели ЭхоКГ правых отделов сердца у пациентов с СНнФВ ЛЖ

Table 3. Parameters of right heart echocardiography in patients with HFrEF LV

Параметры (n = 79)	1-я группа (n = 46) 2-я группа (n = 33)	Медиана	Межквартильный интервал	Минимальное – максимальное значения	Пара, имеющая значимые различия Z; p
TAPSE, см	1– 2–	1,10 1,25	0,74–1,50 0,70–1,74	0,71–1,54 0,70–1,85	Zadj = 0,621 p = 0,5345
S', мм/с	1– 2–	5,25 5,11	3,74–7,50 3,08–6,80	2,91–9,54 2,07–10,85	Zadj = 0,688 p = 0,3365
FAC, %	1– 2–	29,5 28,0	17,7–45,4 16,7–44,8	16,7–47,8 13,9–46,2	Zadj = 0,142 p = 0,887
КДП ПЖ, см ²	1– 2–	27,0 30,5	16,8–38,7 15,1–58,9	15,6–39,4 14,3–65,0	Zadj = 2,465 p = 0,0137
КСП ПЖ, см ²	1– 2–	22,0 25,3	16,8–35,0 8,4–35,0	15,4–35,4 8,1–35,2	Zadj = 1,530 p = 0,1261
КДО ПЖ, мл 3DE	1– 2–	194,0 227,0	147,8–335,4 129,4–294,8	128,4–298,4 145,1–342,2	Zadj = 2,427 p = 0,015
КСО ПЖ, мл 3DE	1– 2–	132,1 165,4	83,8–240,5 86,3–224,5	86,3–228,9 79,5–245,4	Zadj = 2,432 p = 0,0156
УО ПЖ, мл 3DE	1– 2–	58,5 68,5	35,8–125,5 35,9–186,0	37,4–137,0 35,1–276,2	Zadj = 1,356 p = 0,0750
ФВ ПЖ, % 3DE	1– 2–	31,5 27,7	18,8–49,1 14,7–42,4	17,9–50,8 13,9–45,2	Zadj = –2,583 p = 0,0560
GLS RV, %	1– 2–	–9,7 –8,1	(–2,2) – (–16,1) (–2,2) – (–16,4)	(–2,0) – (–19,5) (–1,8) – (–17,4)	Zadj = 2,044 p = 0,0507
FWLSRV, %	1– 2–	–12,7 –9,1	(–3,1) – (–21,1) (–3,2) – (–20,1)	(–2,0) – (–22,5) (–2,0) – (–20,4)	Zadj = 2,325 p = 0,0210
FWLS BS RV, %	1– 2–	–15,7 –9,1	(–3,1) – (–27,2) (–2,2) – (–26,1)	(–3,0) – (–31,5) (–2,0) – (–29,4)	Zadj = 2,656 p = 0,0079
FWLS MS RV, %	1– 2–	–13,6 –12,0	(–5,0) – (–25,2) (–3,3) – (–23,7)	(–5,1) – (–26,2) (–3,2) – (–24,1)	Zadj = –0,164 p = 0,8700
FWLS AS RV, %	1– 2–	–8,0 –8,0	(–1,4) – (–22,0) (+5,0) – (–18,7)	(–1,0) – (–23,2) (+6,1) – (–19,7)	Zadj = 1,574 p = 0,7023
3DE ОПП, мл	1– 2–	72,5 82,0	30,5–133,7 24,6–166,5	23,2–155,4 22,5–280,0	Zadj = 1,253 p = 0,2104
И _н ОПП, мл ² / м ²	1– 2–	24,5 40,0	11,5–82,7 10,6–79,6	10,2–92,4 7,5–94,0	Zadj = 2,323 p = 0,0202
ФО ПП, %	1– 2–	34,8 35,9	16,5–57,7 14,6–120,6	14,1–62,4 13,5–133,0	Zadj = 0,532 p = 0,5947
% КНПВ, %	1– 2–	35,4 28,5	14,4–70,6 6,5–68,2	14,1–73,4 5,5–71,0	Zadj = –1,854 p = 0,0538
СДЛА, мм.рт. ст	1– 2–	40,4 49,5	24,4–68,6 25,5–70,2	20,1–70,4 22,5–78,0	Zadj = 1,634 p = 0,1598
NTproBNP, пг/мл	1– 2–	4589,0 4177,0	272,5–28408,0 683,5–23125,0	555,0–29500,0 190,0–31776,0	Zadj = –0,687 p = 0,4920

Примечание. Здесь и в табл. 4, 5: TAPSE – систолическая экскурсия плоскости трикуспидального кольца; S' – систолическая скорость смещения трикуспидального кольца в режиме тканевого доплера; FAC – фракция изменения площади ПЖ; КДП – конечная диастолическая площадь; КСП – конечная систолическая площадь; КДО – конечный диастолический объем; КСО – конечный систолический объем;

Таблица 3 (окончание).

Table 3 (end).

УО – ударный объем; ФВ ЛЖ – фракция выброса правого желудочка; 3DE – трехмерная эхокардиография; ПП – правое предсердие; 3DE ОПП, мл – объем правого предсердия в трехмерной эхокардиографии; ИнОПП – индекс объема ПП; ФО ПП – фракция опорожнения ПП; GLS RV – глобальная продольная деформация ПЖ; FWLS RV – продольная средняя деформация свободной стенки ПЖ; FWLS BS RV – продольная деформация базального сегмента правого желудочка; FWLS MS RV – продольная деформация медиального сегмента правого желудочка; FWLS AS RV – продольная деформация апикального сегмента; % КНПВ – инспираторного коллапсирования нижней полой вены; СДЛА – систолическое давление в легочной артерии; NTproBNP – мозговой натрийуретический пептид.

инспираторного коллапсирования НПВ в группах достоверно не различался, вместе с тем наблюдалась тенденция к меньшему проценту коллапсирования у пациентов 2-й группы ($p = 0,0538$).

Примеры полуавтоматической реконструкции трехмерной объемной модели ПЖ в режиме реального времени и продольной глобальной деформации ПЖ представлены на рис. 1.

Для выявления предикторов смертности при поражении ПЖ у пациентов с СНнФВ ЛЖ были проведены однофакторный и многофакторный логистические регрессионные анализы. Показатели ЭхоКГ, отражающие размеры и функцию как левых, так и правых отделов сердца, продемонстрировали предикторное значение в однофакторной модели пропорциональных рисков Кокса. Вместе с тем при многофакторном анализе независимыми маркерами неблагоприятного прогноза стали фракция выброса ЛЖ

при трехмерной реконструкции, глобальная продольная деформация ЛЖ и базального сегмента МЖП, а также средняя продольная деформация базального сегмента свободной стенки ПЖ (табл. 4).

При корреляционном анализе исследуемых параметров у больных с СНнФВ ЛЖ выявлены взаимосвязи, характеризующие гетерометрическую адаптацию между правыми и левыми отделами сердца, опосредованную через функциональное ремоделирование ЛП и ПП, изменение деформационных свойств МЖП и разобщение ПЖ и ЛА.

Так, отрицательная слабая корреляция была выявлена между параметрами СДЛА и ИнОПП, в то время как ожидаемая взаимосвязь между СДЛА и деформационными свойствами желудочков не отмечена. С одной стороны, наблюдалась слабая отрицательная связь между показателями объема и функции левых отделов и сопряжением ПЖ и ЛА (TAPSE/SPAP и GLS LV ($p = 0,037$),

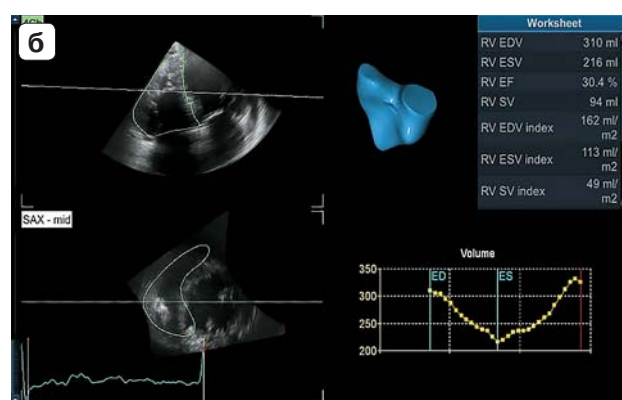
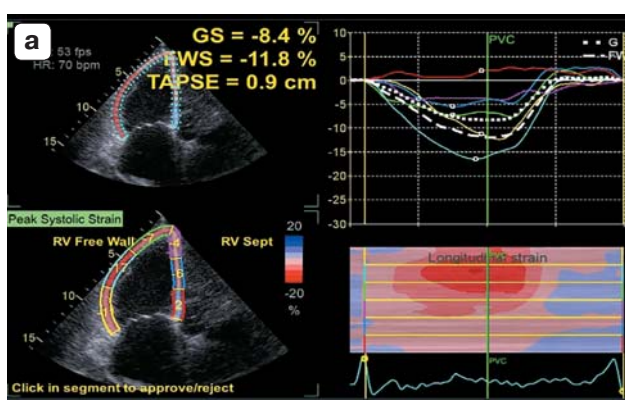


Рис. 1. а – результаты оценки глобальной продольной деформации ПЖ (GLS RV, FWLS); б – реконструкция трехмерной объемной модели ПЖ в режиме реального времени у пациента с СНнФВ ЛЖ и дисфункцией ПЖ.

Fig. 1. a – the results of assessment of the RV global longitudinal strain (GLS RV, FWLS); б – real time 3D-mode image of the RV in a patient with HFrEF LV and RV dysfunction.

Таблица 4. Анализ показателей ЭхоКГ регрессионной модели пропорциональных рисков Кокса у пациентов с СНФВ ЛЖ (n = 79)**Table 4.** Analysis of proportional hazards regression of echocardiography parameters in patients with HFReF (n = 79)

Показатели	Однофакторный анализ		Многофакторный анализ	
	коэффициент Вальда HR (95% CI)	p	коэффициент Вальда HR (95% CI)	p
2DE ВР КДО ЛЖ, мл	10,803 1,003 (1,001–1,005)	0,001	5,963 0,747(0,582–0,927)	0,014
2DE ВР КСО ЛЖ, мл	11,413 1,004 (1,001–1,006)	<0,001		
2DE ВР УО ЛЖ, мл	3,428 1,007 (0,996–1,017)	0,064		
2DE ВР ФВ ЛЖ, %	5,090 0,952 (0,911–0,992)	0,038		
3DE КДО ЛЖ, мл	8,789 1,004 (1,001–1,006)	0,003		
3DE КСО ЛЖ, мл	10,719 1,005 (1,001–1,008)	0,001		
3DE УО ЛЖ, мл	10,199 1,005 (1,001–1,008)	0,001		
3DE ФВ ЛЖ, %	7,508 0,936 (0,893–0,980)	0,006		
Septal S'	1,180 0,977 (0,727–1,296)	0,878		
GLS LV, %	7,134 1,241 (1,063–1,459)	0,007		
IVSLS BS, %	6,818 1,096 (1,022–1,174)	0,009		
ИНОЛП, мл/м ²	12,992 1,286 (1,116–1,470)	<0,001		
СЭПТК (TAPSE), мм	1,380 0,427 (0,101–1,762)	0,240		
S' RV, см/с	1,380 (0,898–1,123)	0,871		
ФИП ПЖ (FAC), %	0,015 1,003 (0,952–1,052)	0,901		
КДП ПЖ, см ²	6,007 1,046 (1,005–1,080)	0,014		
КСП ПЖ, см ²	4,673 1,057 (1,001–1,108)	0,030		
3DE КДО ПЖ, мл	0,901 1,003 (0,996–1,010)	0,324	6,537 1,725 (1,172–2,747)	0,010
3DE КСО ПЖ, мл	0,987 1,004 (0,995–1,013)	0,320		
3DE УО ПЖ, мл	0,458 1,010 (0,973–1,037)	0,498		
3DE ФВ ПЖ, %	1,171 1,005 (0,994–1,013)	0,279		
GLS RV, %	10,117 1,198 (1,073–1,341)	0,001		
FWLS RV, %	5,165 1,095 (1,014–1,187)	0,023		
FWLS BS RV, %	5,283 1,073 (1,011–1,142)	0,021		
			8,426 1,281(1,089–1,532)	0,003

Таблица 4 (окончание).

Table 4 (end).

Показатель	Однофакторный анализ		Многофакторный анализ	
	коэффициент Вальда HR (95% CI)	(p)	коэффициент Вальда HR (95% CI)	(p)
FWLS MS RV, %	2,479 1,056 (0,988–1,133)	0,115		
FWLS AS RV, %	3,361 1,063(0,997–1,137)	0,066		
ИнОПП, мл/м ²	10,001 1,300 (1,098–1,524)	0,001		
% КНПВ, %	4,859 0,045 (0,002–0,654)	0,024		
СДЛА (SPAP), мм рт.ст.	2,416 1,024 (0,993–1,056)	0,120		
TAPSE/SPAP мм/мм рт.ст.	1,093 0,428 (0,083–2,014)	0,295		
NTproBNP, пг/мл	0,287 1,000 (0,999–1,001)	0,598		

Примечание. HR – отношение рисков.

Таблица 5. Корреляционный анализ показателей ЭхоКГ и мозгового натрийуретического пептида у пациентов с СНФВ ЛЖ (n = 79)

Table 5. Correlation analysis of echocardiography and brain natriuretic peptide in patients with HFrEF LV (n = 79)

Показатели	SPAP (СДЛА), мм рт.ст. r, p-value	TAPSE/SPAP, мм/мм рт.ст. r, p-value	NTproBNP, пг/мл r, p-value
ЗДЕ КДО ПЖ, мл	–0,050 (p = 0,672)	–0,081 (p = 0,499)	0,028 (p = 0,809)
ЗДЕ КСО ПЖ, мл	–0,063 (p = 0,595)	–0,089 (p = 0,455)	0,056 (p = 0,632)
ЗДЕ УО ПЖ, мл	–0,019 (p = 0,872)	–0,040 (p = 0,739)	–0,048 (p = 0,684)
ЗДЕ ФВ ПЖ, %	0,107 (p = 0,364)	0,172 (p = 0,150)	–0,133 (p = 0,260)
GLS LV, %	–0,079 (p = 0,523)	–0,261 (p = 0,037)	0,168 (p = 0,175)
IVSLS BS, %	–0,305 (p = 0,010)	0,104 (p = 0,398)	0,092 (p = 0,449)
ИнОЛП, мл/м ²	–0,052 (p = 0,661)	–0,235 (p = 0,048)	0,101 (p = 0,394)
TAPSE, см	–0,022 (p = 0,854)	–	0,273 (p = 0,021)
КДП ПЖ, см ²	0,029 (p = 0,807)	–0,020 (p = 0,094)	0,132 (p = 0,267)
КСП ПЖ, см ²	0,068 (p = 0,565)	–0,331 (p = 0,004)	0,161 (p = 0,174)
ФИП ПЖ (FAC), %	–0,214 (p = 0,069)	–0,481 (p < 0,001)	0,201 (p = 0,090)
ИнОПП, мл/м ²	–0,322 (p = 0,005)	–0,057 (p = 0,633)	0,080 (p = 0,498)
ЗДЕ КДО ПЖ, мл	0,151 (p = 0,225)	–0,112 (p = 0,370)	0,260 (p = 0,034)
ЗДЕ КСО ПЖ, мл	0,219 (p = 0,079)	–0,210 (p = 0,095)	0,267 (p = 0,031)
ЗДЕ УО ПЖ, мл	–0,038 (p = 0,757)	0,164 (p = 0,189)	0,087 (p = 0,485)
ЗДЕ ФВ ПЖ, %	–0,216 (p = 0,081)	0,319 (p = 0,009)	–0,084 (p = 0,499)
FWLS RV, %	0,056 (p = 0,642)	–0,516 (p < 0,001)	0,306 (p = 0,010)
FWLS BS RV, %	–0,072 (p = 0,556)	–0,284 (p = 0,018)	0,165 (p = 0,173)
GLS RV, %	–0,112 (p = 0,354)	–0,321 (p = 0,007)	0,303 (p = 0,449)
% КНПВ, %	–0,156 (p = 0,188)	0,272 (p = 0,022)	–0,085 (p = 0,474)

Примечание. r – коэффициент корреляции Спирмена.

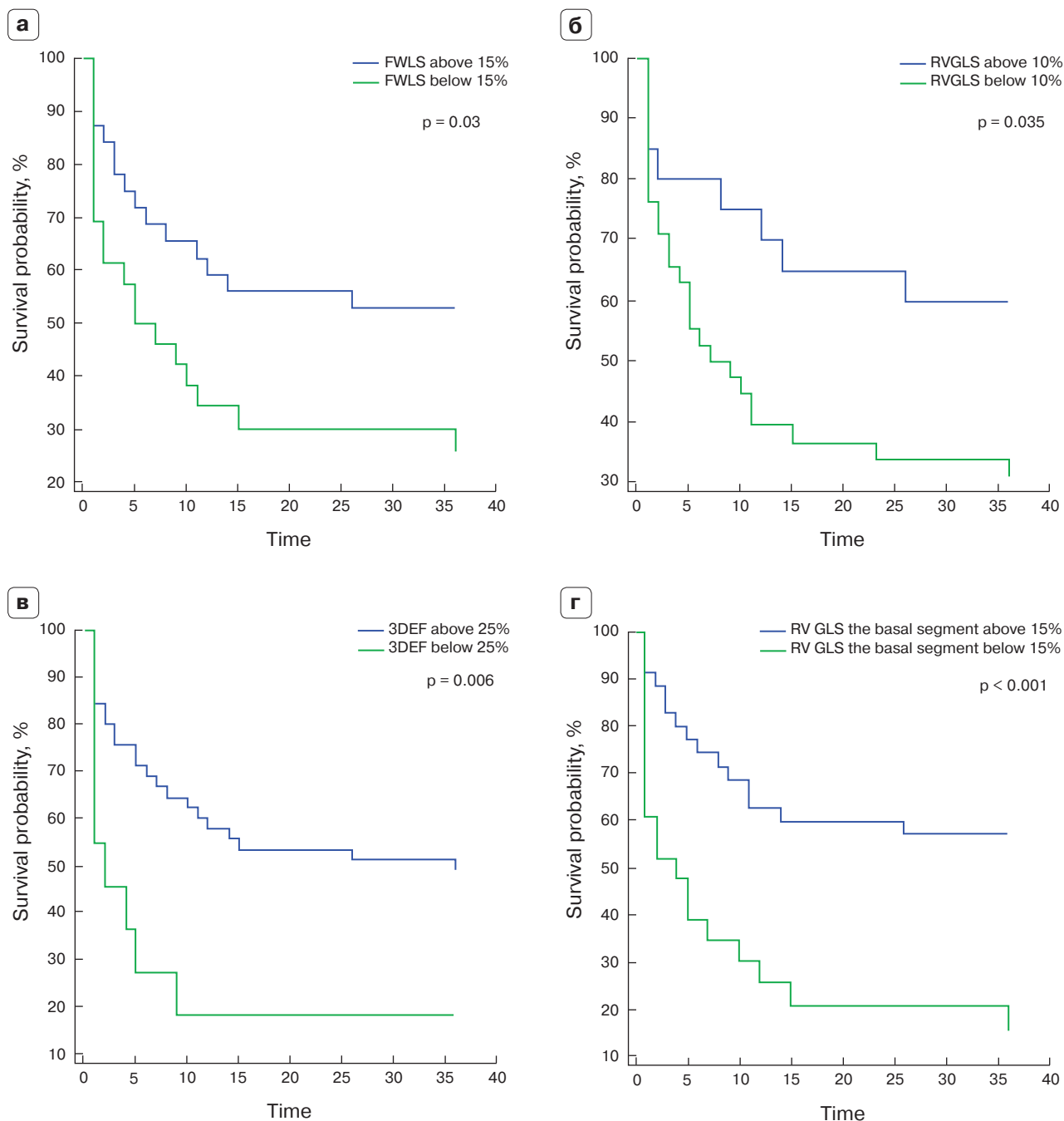


Рис. 2. Показатели продольной деформации и показатели систолической функции ПЖ. **а** – GLSRV, %; **б** – FWLS, %; **в** – 3DERVEF, %; **г** – FWLS, процент базального сегмента в прогнозе смертности у больных с СНнФВ ЛЖ. Вертикальная ось – выживаемость, горизонтальная – время в месяцах.

Fig. 2. Parameters of longitudinal strain and RV systolic function. **а** – GLSRV, %; **б** – FWLS, %; **в** – 3DERVEF, %; **г** – FWLS, % of the basal segment in the prediction of mortality in patients with HFrEF LV. The vertical axis is a survival rate and the horizontal axis is time in months.

TAPSE/SPAP и ИнОПП ($p = 0,048$). С другой стороны, отношение TAPSE/SPAP продемонстрировало отрицательную корреляционную зависимость средней и слабой силы с 2DE- и 3DE-показателями функции и параметрами продольной деформации ПЖ, а также положительную взаимосвязь с процентом инспираторного коллапсирования НПВ. Прямая функциональная связь выявлена между NTproBNP и параметрами объемов/ функции ПЖ (табл. 5).

При сравнении площади ПЖ в систолу и диастолу выявлены различия между больными 1-й и 2-й групп в оценке диастолической площади ПЖ (КДП ПЖ, см^2) менее 30 см^2 ($\chi^2 - 6,303$; $p = 0,012$), а также систолической площади ПП (КСП ПЖ, см^2) менее 25 см^2 ($\chi^2 - 10,35$; $p = 0,001$). Прогностическую значимость у наблюдаемых больных имели GLSRV, $\% > -10\%$ ($\chi^2 - 3,796$; $p = 0,051$) и FWLS, $\% > -15\%$ ($\chi^2 - 4,438$; $p = 0,035$).

Анализ глобальной продольной деформации изолированных сегментов свободной стенки ПЖ (FWLS) при значении менее -15% (в абсолютном значении) продемонстрировал прогностическую ценность деформационных свойств базального сегмента в 1-й группе пациентов по сравнению со 2-й ($\chi^2 - 11,986$; $p = 0,0005$). При этом различия между группами выявлены также для среднего сегмента ($\chi^2 - 4,348$; $p = 0,037$) и апикального сегмента ($\chi^2 - 5,768$; $p = 0,016$) соответственно. 3ДЕФВ ПЖ менее 25% ($\chi^2 - 7,518$; $p = 0,006$) повышала риск неблагоприятного прогноза в течение трех лет наблюдения (рис. 2).

Выявлены различия между пациентами двух групп в показателях, характеризующих приток к ПЖ и оцениваемых при трехмерной визуализации (3DE ОПП более 100 мл при $\chi^2 - 4,36$; $p = 0,036$; ИнОПП при $\chi^2 - 6,261$; $p = 0,012$), а также процент КНПВ менее 30% при $\chi^2 - 7,85$; $p = 0,005$.

ОБСУЖДЕНИЕ

Возрастающий интерес к оценке формы, объема, механики сокращения и систолической функции ПЖ связан с клинической и прогностической значимостью при различной патологии, в том числе у больных СН со сниженной ФВ ЛЖ, которым проводились медикаментозная терапия, рекон-

структивные операции на клапанах сердца, реваскуляризации миокарда и имплантация внутрисердечных устройств [2, 5–12]. Нами проведен анализ предикторной роли ультразвуковых показателей нарушения функции левых и правых камер сердца у 79 больных с СНнФВ, разделенных на две группы в зависимости от трехлетней выживаемости.

Существует несколько теорий параллельной дисфункции ЛЖ и ПЖ у пациентов с СН. Согласно концептуальной теории Francisco Torrent-Guasp, миокард обоих желудочков делится на волокна восходящего и нисходящего сегмента, а мышечная лента пролегает от легочной артерии до аорты. Подобная уникальная пространственная конфигурация миокарда обеспечивает формирование базальных и апикальных петель, что и создает анатомическую основу для эффективной работы желудочков. При этом правый и левый желудочки окружены поперечно ориентированными циркулярными миокардиальными волокнами внутри базальной петли, в то время как субэндокардиальные волокна идут косо и реципрокно по правую руку, а субэпикардиальные мышечные волокна по левую руку перекрещиваются внутри МЖП и соединяются в апикальную спираль [2–4, 18, 19].

Прогностически неблагоприятное ремоделирование полостей сердца, продемонстрированное у пациентов 2-й группы в нашем исследовании и подтвержденное данными литературы, связано с изменениями конфигурации и дилатация полости ЛЖ, увеличением конечного диастолического давления ЛЖ, нарушением сократимости и деформационных свойств миокарда ЛЖ и может напрямую влиять на функцию ПЖ через систолические и диастолические межжелудочковые взаимодействия, опосредованные через общую МЖП [18–21]. Этот предполагаемый механизм поддерживается независимым взаимодействием, которое можно оценить с помощью скорости движения базального сегмента МЖП в режиме тканевого доплера (Septal S'), TAPSE и волны S' [2], а также с помощью современных инструментов оценки деформационных свойств миокарда ЛЖ и ПЖ: GLS LV, %, IVSLS BS, %, GLS RV, %, FWLS RV, %, FWLS BS RV, %. Как демонстрирует данное исследование, межжелудочковое взаимо-

действие отражает прогностическую значимость продольной глобальной деформации на уровне базальных сегментов.

Продольный компонент сокращения при СНнФВ вносит существенный вклад в механику сокращения и глобальную сократительную функцию обоих желудочков и становится независимым предиктором неблагоприятного исхода (GLS LV, $p = 0,010$; IVSLS BS, $p = 0,012$; FWLS BS RV, $p = 0,003$). Вместе с тем необходимо отметить, что этиология поражения миокарда при СНнФВ ЛЖ определяет механизм дисфункции ПЖ. Так, у пациентов после кардиохирургических реконструктивных операций (до 80% исследуемых пациентов) и трансплантации сердца функция продольного сокращения значительно снижается, радиальный компонент становится ведущим при сохраненной ФВ ПЖ [5, 20]. В отличие от этой модели, постнагрузка на ПЖ способствует значительному снижению радиального компонента сокращения при достаточном переднезаднем и продольном смещении стенки у пациентов с нормальной или сниженной ФВ ПЖ и ЛГ [20–22].

Известно, что нейрогуморальная активация при левожелудочковой СН может иметь прямое или косвенное влияние на функцию ПЖ [18–20]. В исследуемой когорте корреляционная прямая связь выявлена между NTproBNP и показателями объемов ПЖ при 3DE-реконструкции, а также TAPSE и FWLS.

При декомпенсации СН запускается каскад структурных и функциональных изменений ПЖ, связанных непосредственно с наполнением и изгнанием крови из полости ПЖ, пост- и преднагрузкой и сопряжением ПЖ и ЛА [21–23]. Изменение нагрузки на ПЖ может привести к увеличению сократимости ПЖ за счет гомеометрической адаптации сократимости по закону Анрепа, а если воздействие, возникшее остро, становится устойчивым, включается гетерометрическая ауторегуляция по закону Старлинга [21]. Когда эта адаптация по какой-либо причине не дает результата, происходит “разобщение” ПЖ и ЛА. Наиболее частыми причинами “разобщения” ПЖ и ЛА могут стать легочная артериальная гипертензия I типа с сильно повышенным СДЛА, электрокардиостимуляция, приводящая к ремоделированию ПЖ, когда ЛГ

слабо выражена, а сократимость ПЖ заметно снижена и наиболее выражена артериальная “разобщенность” ПЖ и ЛА при декомпенсированной тотальной СН [2, 21, 22].

Наличие дисфункции ПЖ у пациентов с СНнФВ было независимо связано с имеющейся дисфункцией ЛЖ, но не связано со степенью легочной гипертензии и СДЛА, что позволяет предположить вклад общих бивентрикулярных деформационных процессов в дисфункцию ПЖ при прогрессировании СНнФВ. В когорте наблюдаемых больных были выявлены корреляционная обратная зависимость между СДЛА и деформацией базального сегмента МЖП ($p = 0,01$), СДЛА и индексированным объемом ПП ($p = 0,005$). Однако более тесные взаимосвязи были выявлены при оценке разобщения ПЖ и ЛА (TAPSE/SPAP) и показателями геометрического ремоделирования полостей сердца. С одной стороны, корреляционный анализ Спирмена продемонстрировал обратную связь между TAPSE/SPAP и глобальной деформацией ЛЖ, а также индексированным объемом ЛП. С другой стороны, выявлены взаимосвязи TAPSE/SPAP с большинством показателей функции ПЖ и процентом инспираторного коллабироваия НПВ, но не индексированным объемом ПП, что заставляет задуматься о дополнительных не полностью изученных факторах, влияющих на эластичность и диастолическую функцию правых камер сердца.

Длительное время полагали, что TAPSE является количественным параметром, который определяет продольную функцию ПЖ и учитывает большую часть сокращения ПЖ по сравнению с поперечным укорочением. Тем не менее TAPSE является оператор- и углозависимым региональным параметром, зависящим от мышечного натяжения, малоинформативным у больных с имплантированными устройствами, ненадежным при измерениях у пациентов в послеоперационном периоде [2, 5, 24–26]. В нашем наблюдении параметр TAPSE по результатам однофакторного и многофакторного регрессионного анализа и при оценке выживаемости в течение 3 лет наблюдения не показал преимуществ прогностической значимости.

В условиях “левосторонней” СН снижение инотропных свойств ЛЖ требует боль-

шего давления для наполнения ЛП, что снижает комплаентность, запускает венозную ЛГ и принуждает ПЖ работать с повышенной нагрузкой, вызывая его ремоделирование и дилатацию. Отмечено, что нарушение функции наполнения и дилатация ПП в этом случае могут быть самым чувствительным показателем меры сердечной дисфункции. Степень коллабироваия НПВ отражает приточную перегрузку на правые камеры сердца и является надежным предвестником дисфункции ПЖ [27].

Дилатация ПЖ за счет увеличения КДП ПЖ более 30 см^2 ($p = 0,012$) и КСП ПЖ более 25 см^2 ($p = 0,001$), увеличения объема ПП более 100 мл ($p = 0,036$), процента коллабироваия НПВ менее 30% ($p = 0,005$) при высокой чувствительности признака оказалась прогностически неблагоприятной в прогнозе выживаемости при наблюдении в течение 3 лет у пациентов с СНнФВ ЛЖ.

По данным Е. Суркова и А. Ковач (2020), двухмерная продольная деформация ПЖ является наименее зависимым от нагрузки индексом, в отличие от 3ДЕФВ ПЖ, в условиях значительной перегрузки по давлению или объему [5, 28–32]. В нашем наблюдении отмечено, что 3ДЕФВ ПЖ менее 25% ($p = 0,006$) повышает риск смертности при наблюдении в течение 3 лет у пациентов с СНнФВ ЛЖ.

По мнению L. Houard и соавт. [33], глобальная продольная деформация ПЖ по сравнению с продольной деформацией свободной стенки ПЖ более информативный показатель при прогнозировании общей смертности при СНнФВ ЛЖ, так как отражает систолическую функцию ПЖ, а также взаимодействие с ЛЖ через общую МЖП. Полученные результаты указывают на изменение деформационных свойств ПЖ за счет продольного компонента при $\text{GLSRV} < -10\%$ при $p = 0,051$, а $\text{FWLS} < -15\%$ при $p = 0,035$ соответственно в группе больных с СНнФВ ЛЖ, умерших в течение 3 лет наблюдения. Выраженное снижение значения GLS RV можно объяснить, с одной стороны, исходно низким GLS LV , который стал по данным многофакторного регрессионного анализа независимым предиктором летальности, с другой стороны, межжелудочковым взаимодействием и межжелудочковой диссинхронией у этой категории пациентов.

У больных с СНнФВ ЛЖ вклад межжелудочкового взаимодействия обуславливает изменения градиента давления в систолу и диастолу в обеих камерах, что проявляется межжелудочковой механической диссинхронией любой степени выраженности. Известно, что измерения деформации миокарда с помощью ЭхоКГ по сравнению с МРТ более доступные, поскольку меньше зависят от фаз дыхания во время исследования, более информативны, легко воспроизводимы, имеют более низкую стоимость и широко внедряются в практическую медицину [2, 5, 34–36].

Предикторную роль в оценке выживаемости у наблюдаемых больных имеет также снижение продольной деформации каждого сегмента свободной стенки ПЖ, однако нарушение деформационных свойств базального сегмента вносит больший вклад в дисфункцию ПЖ ($\text{FWLS BS}, \% < -15\%$ ($p < 0,001$)).

Таким образом, нарушение функции ПЖ у больных с СНнФВ ЛЖ является прогностически неблагоприятным фактором, зависит от этиологии и длительности поражения миокарда, а также тактики выбранного лечения. Каскад структурных аномалий правых отделов сердца и ЛА у пациентов с СНнФВ ЛЖ начинается с момента возникновения диастолической дисфункции ЛЖ, развивается по мере прогрессирования систолической дисфункции ЛЖ и дилатации ЛЖ, запускает гиперволемию из-за перераспределения объема крови в большом круге кровообращения и становится иницирующим фактором для посткапиллярной ЛГ в малом круге кровообращения. Дисфункция правых отделов сердца при этом вызвана как нарушением сократительной способности ПЖ, так и несоответствием эластичности ПЖ и ЛА. Систолические и диастолические межжелудочковые взаимодействия осуществляются через общую МЖП и в итоге реализуются в степени диссинхронии сокращения желудочков. Возникающая гомеометрическая адаптация к перегрузке давлением сопровождается гипертрофией ПЖ, в то время как возникающая позже гетерометрическая адаптация связана с расширением и дисфункцией ПЖ, присоединением ЛГ и расщеплением ПЖ и ЛА. При этом показатели деформации миокарда являются прогно-

стически значимыми независимыми маркерами выживаемости у больных с СНнФВ ЛЖ и дисфункцией ПЖ.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Основными приобретениями этого исследования являются следующие: во-первых, дилатация и снижение функции продольного сокращения обоих желудочков в сочетании с дилатацией обоих предсердий характеризуют группу больных с неблагоприятным прогнозом; во-вторых, глобальная продольная деформация ЛЖ и базального сегмента МЖП, ФВ ЛЖ, средняя продольная деформация свободной стенки ПЖ и ее базального сегмента, а также процент инспираторного коллабирования НПВ стали независимыми маркерами неблагоприятного прогноза; в-третьих, структурные изменения левых камер способны стимулировать посткапиллярную легочную гипертензию и изменять межжелудочковое взаимодействие, в то время как гетерометрическое ремоделирование правых камер и нарушение функции ПЖ является пусковым механизмом расщепления ПЖ и ЛА и в конечном итоге приводит к неблагоприятным исходам.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Maddox T.M., Januzzi J.L. Jr., Allen L.A. et al. 2021 Update to the 2017 ACC Expert Consensus Decision Pathway for Optimization of Heart Failure Treatment: Answers to 10 Pivotal Issues About Heart Failure with Reduced Ejection Fraction: A Report of the American College of Cardiology Solution Set Oversight Committee. *J. Am. Coll. Cardiol.* 2021; 77 (6): 772–810. <https://doi.org/10.1016/j.jacc.2020.11.022>
- Bosch L., Lam C., Gong L. et al. Right ventricular dysfunction in left-sided heart failure with preserved versus reduced ejection fraction. *Eur. J. Heart Fail.* 2017; 19 (12): 1664–1671. <https://doi.org/10.1002/ehjhf.873>
- Torrent-Guasp F., Kocica M.J., Corno A.F. et al. Towards new understanding of the heart structure and function. *Eur. J. Cardiothorac. Surg.* 2005; 27 (2): 191–201. <https://doi.org/10.1016/j.ejcts.2004.11.026>
- Павлюкова Е.Н., Кужель Д.А., Матюшин Г.В., Лыткина В.С. Ротация, скручивание и раскручивание левого желудочка: физиологическая роль и значение в клинической практике. *Рациональная фармакотерапия в кардиологии.* 2015; 11 (1): 68–78. <http://dx.doi.org/10.20996/1819-6446-2016-12-4-435-442>
- Суркова Е., Ковач А. Современные эхокардиографические подходы к комплексной оценке функции правого желудочка. *Российский кардиологический журнал.* 2020; 25 (S3): 4067. <https://doi.org/10.15829/1560-4071-2020-4067>
- Surkova E., Muraru D., Genovese D. et al. Relative Prognostic Importance of Left and Right Ventricular Ejection Fraction in Patients with Cardiac Diseases. *J. Am. Soc. Echocardiogr.* 2019; 32 (11): 1407–1415. <https://doi.org/10.1016/j.echo.2019.06.009>
- Gorter T.M., Hoendermis E.S., van Veldhuisen D.J. et al. Right ventricular dysfunction in heart failure with preserved ejection fraction: a systematic review and meta-analysis. *Eur. J. Heart Fail.* 2016; 18; 1472–1487. <https://doi.org/10.1002/ehjhf.630>
- Gavazzoni M., Badano L.P., Vizzardi E. et al. Prognostic value of right ventricular free wall longitudinal strain in a large cohort of outpatients with left-side heart disease. *Eur. Heart J. Cardiovasc. Imaging.* 2019; jez246. <https://doi.org/10.1093/ehjci/jez246>
- Lang R.M., Badano L.P., Mor-Avi V. et al. Recommendations for cardiac chamber quantification by echocardiography in adults: an update from the American Society of Echocardiography and the European Association of Cardiovascular Imaging. *Eur. Heart J. Cardiovasc. Imaging.* 2015; 16: 233–270. <https://doi.org/10.1093/ehjci/jev014>
- Скидан В.И., Боровски А., Парк М. Оценка сократительной способности правого желудочка с помощью трехмерной эхокардиографии в режиме реального времени у пациентов с острой декомпенсированной сердечной недостаточностью. *Ультразвуковая и функциональная диагностика.* 2012; 1: 52–67.
- Horton K.D., Meece R.W., Hill J.C. Assessment of the right ventricle by echocardiography: a primer for cardiac sonographers. *J. Am. Soc. Echocardiogr.* 2009; 22 (7): 776–792. <https://doi.org/10.1016/j.echo.2009.04.027>
- Grewal J., Majdalany D., Syed I. et al. Threedimensional echocardiographic assessment of right ventricular volume and function in adult patients with congenital heart disease: comparison with magnetic resonance imaging. *J. Am. Soc. Echocardiogr.* 2010; 23 (2): 127–133. <https://doi.org/10.1016/j.echo.2009.11.002>
- Badano L., Kolias T., Muraru D. et al. Standardization of left atrial, right ventricular, and right atrial deformation imaging using two-dimensional speckle tracking echocardiography: a consensus document of the EACVI/ASE/Industry Task Force to standardize deformation imaging. *Eur. Heart J. Cardiovasc. Imaging.* 2018; 19 (6): 591–600. <https://doi.org/10.1093/ehjci/jeu042>
- Mittelböck M. Book Review: Survival Analysis: Techniques for Censored and Truncated Data. By John P. Klein and Melvin L. Moeschberger. *Biometr. J.* 2004; 46 (3): 379–379. <https://doi.org/10.1002/bimj.200410046>
- Escobar L.A., Pascual F.G., Meeker W.Q. Statistical Methods for Reliability Data. 2nd ed. New York: John Wiley & Sons, 2022. 704 p. ISBN: 978-1-118-11545-9

16. SAS Institute Inc. (2023). "The LIFETEST Procedure." In SAS/STAT® User's Guide. Cary, NC: SAS Institute Inc. https://go.documentation.sas.com/api/collections/pgmsascdc/9.4_3.5/docsets/statug/content/lifetest.pdf
17. Skidan V.I., Rosseykin E.V., Pavlyukova E.N., Nartsissova G.P. Significance of echocardiographic right ventricular predictors of adverse prognosis in right ventricular dysfunction in patients with HFrEF. *Eur. Heart J. – Cardiovasc. Imaging*. 2022; 23 (1): jeab289.388. <https://doi.org/10.1093/ehjci/jeab289.388>
18. Buckberg G.D., Hoffman J.I., Coghlan H.C., Nanda N.C. Ventricular structure-function relations in health and disease: Part I. The normal heart. *Eur. J. Cardiothorac. Surg.* 2015; 47 (4): 587–601. <https://doi.org/10.1093/ejcts/ezu278>
19. Plunkett M.D., Buckberg G.D. Pathophysiologic implications of the helical ventricular myocardial band: considerations for right ventricular restoration. *Semin. Thorac. Cardiovasc. Surg. Pediatr. Card. Surg. Annu.* 2007; 10: 68–75. <https://doi.org/10.1053/j.pcsu.2007.01.011>
20. Buckberg G.D.; RESTORE Group. The ventricular septum: the lion of right ventricular function, and its impact on right ventricular restoration. *Eur. J. Cardiothorac. Surg.* 2006; 29 (Suppl. 1): S272–S278. <https://doi.org/10.1016/j.ejcts.2006.02.011>
21. Tadic M., Nita N., Schneider L. et al. The Predictive Value of Right Ventricular Longitudinal Strain in Pulmonary Hypertension, Heart Failure, and Valvular Diseases. *Front. Cardiovasc. Med.* 2021; 8: 698158. <https://doi.org/10.3389/fcvm.2021.698158>
22. Kim D., Park Y., Choi K. et al. Prognostic Implication of RV Coupling to Pulmonary Circulation for Successful Weaning from Extracorporeal Membrane Oxygenation. *JACC. Cardiovasc. Imaging*. 2021; 14 (8): 1523–1531. <https://doi.org/10.1016/j.jcmg.2021.02.018>
23. Pagnamenta A., Dewachter C., McEntee K. et al. Early right ventriculo-arterial uncoupling in borderline pulmonary hypertension on experimental heart failure. *J. Appl. Physiol. (1985)*. 2010; 109: 1080–1085. <https://doi.org/10.1152/japplphysiol.00467.2010>
24. Lakatos B., Toser Z., Tokodi M. et al. Quantification of the relative contribution of the different right ventricular wall motion components to right ventricular ejection fraction: the ReVISION method. *Cardiovasc. Ultrasound*. 2017; 15 (1): 8. <https://doi.org/10.1186/s12947017-0100-0>
25. Smith B.C., Dobson G., Dawson D. et al. Three-dimensional speckle tracking of the right ventricle: toward optimal quantification of right ventricular dysfunction in pulmonary hypertension. *J. Am. Coll. Cardiol.* 2014; 64 (1): 41–51. <https://doi.org/10.1016/j.jacc.2014.01.084>
26. Badano L.P., Ghingina C., Easaw J. et al. Right ventricle in pulmonary arterial hypertension: haemodynamics, structural changes, imaging, and proposal of a study protocol aimed to assess remodeling and treatment effects. *Eur. J. Echocardiogr.* 2010; 11 (1): 27–37. <https://doi.org/10.1093/ejehocardi/jep152>
27. Guazzi M., Gatto P., Giusti G. et al. Pathophysiology of cardiorenal syndrome in decompensated heart failure: role of lung-right heart-kidney interaction. *Int. J. Cardiol.* 2013; 169 (6): 379–384. <https://doi.org/10.1016/j.ijcard.2013.09.014>
28. Naeije R., Brimiouille S., Dewachter L. Biomechanics of the right ventricle in health and disease (2013 Grover Conference series). *Pulm. Circ.* 2014; 4 (3): 395–406. <https://doi.org/10.1086/677354>
29. Aloia E., Cameli M., D'Ascenzi F. et al. TAPSE: an old but useful tool in different diseases. *Int. J. Cardiol.* 2016; 225: 177–183. <https://doi.org/10.1016/j.ijcard.2016.10.009>
30. DeFilippis E.M., Guazzi M., Colombo P.C. et al. A right ventricular state of mind in the progression of heart failure with reduced ejection fraction: implications for left ventricular assist device therapy. *Heart Fail. Rev.* 2021; 26 (6): 1467–1475. <https://doi.org/10.1007/s10741-020-09935-x>
31. Damy T., Kallvikbacka-Bennett A., Goode K. et al. Prevalence of, associations with, and prognostic value of tricuspid annular plane systolic excursion (TAPSE) among out-patients referred for the evaluation of heart failure. *J. Card. Fail.* 2012; 18 (3): 216–225. <https://doi.org/10.1016/j.cardfail.2011.12.003>
32. Skidan V.I., Goda A.Y., Challa A.B. et al. Impact of plasma volume redistribution on outcomes in patients with heart failure with reduced ejection fraction. *Eur. Heart J. – Cardiovasc. Imaging*. 2023; 24 (Suppl. 1): jead119.260. <https://doi.org/10.1093/ehjci/jead119.260>
33. Houard L., Benaets M.-B., de Meester de Ravenstein C. et al. Additional prognostic value of 2D right ventricular speckle tracking strain for prediction of survival in heart failure and reduced ejection fraction: a comparative study with cardiac magnetic resonance. *J. Am. Coll. Cardiol. Cardiovasc. Imaging*. 2019; 12 (12): 2373–2385. <https://doi.org/10.1016/j.jcmg.2018.11.028>
34. Muraru D., Cucchini U., Mihăilă S. et al. Left ventricular myocardial strain by three-dimensional speckle-tracking echocardiography in healthy subjects: reference values and analysis of their physiologic and technical determinants. *J. Am. Soc. Echocardiogr.* 2014; 27 (8): 858–871.e1. <https://doi.org/10.1016/j.echo.2014.05.010>
35. Peluso D., Badano L.P., Muraru D. et al. Right atrial size and function assessed with three-dimensional and speckle-tracking echocardiography in 200 healthy volunteers. *Eur. Heart J. Cardiovasc. Imaging*. 2013; 14 (11): 1106–1114. <https://doi.org/10.1093/ehjci/jet024>
36. Lakatos B.K., Nabeshima Y., Tokodi M. et al. Importance of Nonlongitudinal Motion Components in Right Ventricular Function: Three-Dimensional Echocardiographic Study in Healthy Volunteers. *J. Am. Soc. Echocardiogr.* 2020; 33 (8): 995–1005.e1. <https://doi.org/10.1016/j.echo.2020.04.002>

REFERENCES

- Maddox T.M., Januzzi J.L. Jr., Allen L.A. et al. 2021 Update to the 2017 ACC Expert Consensus Decision Pathway for Optimization of Heart Failure Treatment: Answers to 10 Pivotal Issues About Heart Failure with Reduced Ejection Fraction: A Report of the American College of Cardiology Solution Set Oversight Committee. *J. Am. Coll. Cardiol.* 2021; 77 (6): 772–810. <https://doi.org/10.1016/j.jacc.2020.11.022>
- Bosch L., Lam C., Gong L. et al. Right ventricular dysfunction in left-sided heart failure with preserved versus reduced ejection fraction. *Eur. J. Heart Fail.* 2017; 19 (12): 1664–1671. <https://doi.org/10.1002/ehj.873>
- Torrent-Guasp F., Kocica M.J., Corno A.F. et al. Towards new understanding of the heart structure and function. *Eur. J. Cardiothorac. Surg.* 2005; 27 (2): 191–201. <https://doi.org/10.1016/j.ejcts.2004.11.026>
- Pavlyukova E.N., Kuzhel D.A., Matyushin G.V. et al. Left ventricular rotation, twist and untwist: physiological role and clinical relevance. *Rational Pharmacotherapy in Cardiology.* 2015; 11 (1): 68–78. <http://dx.doi.org/10.20996/1819-6446-2016-12-4-435-442> (In Russian)
- Surkova E., Kovács A. Comprehensive Echocardiographic Assessment of the Right Ventricular Performance: beyond TAPSE and fractional area change. *Russian Journal of Cardiology.* 2020; 25 (S3): 4067. <https://doi.org/10.15829/1560-4071-2020-4067> (In Russian)
- Surkova E., Muraru D., Genovese D. et al. Relative Prognostic Importance of Left and Right Ventricular Ejection Fraction in Patients with Cardiac Diseases. *J. Am. Soc. Echocardiogr.* 2019; 32 (11): 1407–1415. <https://doi.org/10.1016/j.echo.2019.06.009>
- Gorter T.M., Hoendermis E.S., van Veldhuisen D.J. et al. Right ventricular dysfunction in heart failure with preserved ejection fraction: a systematic review and meta-analysis. *Eur. J. Heart Fail.* 2016; 18; 1472–1487. <https://doi.org/10.1002/ehj.630>
- Gavazzoni M., Badano L.P., Vizzardi E. et al. Prognostic value of right ventricular free wall longitudinal strain in a large cohort of outpatients with left-side heart disease. *Eur. Heart J. Cardiovasc. Imaging.* 2019; jez246. <https://doi.org/10.1093/ehjci/jez246>
- Lang R.M., Badano L.P., Mor-Avi V. et al. Recommendations for cardiac chamber quantification by echocardiography in adults: an update from the American Society of Echocardiography and the European Association of Cardiovascular Imaging. *Eur. Heart J. Cardiovasc. Imaging.* 2015; 16: 233–270. <https://doi.org/10.1093/ehjci/jev014>
- Skidan V.I., Borowski A., Park M. Assessment of the contractility of the right ventricle using real-time three-dimensional echocardiography in patients with acute decompensated heart failure. *Ultrasound and Functional Diagnostics.* 2012; 1: 52–67. (In Russian)
- Horton K.D., Meece R.W., Hill J.C. Assessment of the right ventricle by echocardiography: a primer for cardiac sonographers. *J. Am. Soc. Echocardiogr.* 2009; 22 (7): 776–792. <https://doi.org/10.1016/j.echo.2009.04.027>
- Grewal J., Majdalany D., Syed I. et al. Three-dimensional echocardiographic assessment of right ventricular volume and function in adult patients with congenital heart disease: comparison with magnetic resonance imaging. *J. Am. Soc. Echocardiogr.* 2010; 23 (2): 127–133. <https://doi.org/10.1016/j.echo.2009.11.002>
- Badano L., Kolias T., Muraru D. et al. Standardization of left atrial, right ventricular, and right atrial deformation imaging using two-dimensional speckle tracking echocardiography: a consensus document of the EACVI/ASE/Industry Task Force to standardize deformation imaging. *Eur. Heart J. Cardiovasc. Imaging.* 2018; 19 (6): 591–600. <https://doi.org/10.1093/ehjci/jeu042>
- Mittelböck M. Book Review: Survival Analysis: Techniques for Censored and Truncated Data. By John P. Klein and Melvin L. Moeschberger. *Biometr. J.* 2004; 46 (3): 379–379. <https://doi.org/10.1002/bimj.200410046>
- Escobar L.A., Pascual F.G., Meeker W.Q. Statistical Methods for Reliability Data. 2nd ed. New York: John Wiley & Sons, 2022. 704 p. ISBN: 978-1-118-11545-9
- SAS Institute Inc. (2023). “The LIFETEST Procedure.” In SAS/STAT® User’s Guide. Cary, NC: SAS Institute Inc. https://go.documentation.sas.com/api/collections/pgmsascdc/9.4_3.5/docsets/statug/content/lifetest.pdf
- Skidan V.I., Rosseykin E.V., Pavlyukova E.N., Nartsissova G.P. Significance of echocardiographic right ventricular predictors of adverse prognosis in right ventricular dysfunction in patients with HFrEF. *Eur. Heart J. – Cardiovasc. Imaging.* 2022; 23 (1): jeab289.388. <https://doi.org/10.1093/ehjci/jeab289.388>
- Buckberg G.D., Hoffman J.I., Coghlan H.C., Nanda N.C. Ventricular structure-function relations in health and disease: Part I. The normal heart. *Eur. J. Cardiothorac. Surg.* 2015; 47 (4): 587–601. <https://doi.org/10.1093/ejcts/ezu278>
- Plunkett M.D., Buckberg G.D. Pathophysiologic implications of the helical ventricular myocardial band: considerations for right ventricular restoration. *Semin. Thorac. Cardiovasc. Surg. Pediatr. Card. Surg. Annu.* 2007; 10: 68–75. <https://doi.org/10.1053/j.pcsu.2007.01.011>
- Buckberg G.D.; RESTORE Group. The ventricular septum: the lion of right ventricular function, and its impact on right ventricular restoration. *Eur. J. Cardiothorac. Surg.* 2006; 29 (Suppl. 1): S272–S278. <https://doi.org/10.1016/j.ejcts.2006.02.011>
- Tadic M., Nita N., Schneider L. et al. The Predictive Value of Right Ventricular Longitudinal Strain in Pulmonary Hypertension, Heart Failure, and Valvular Diseases. *Front. Cardiovasc. Med.* 2021; 8: 698158. <https://doi.org/10.3389/fcvm.2021.698158>
- Kim D., Park Y., Choi K. et al. Prognostic Implication of RV Coupling to Pulmonary Circulation for Successful Weaning from Extracorporeal Membrane Oxygenation. *JACC. Cardiovasc Imaging.* 2021; 14 (8): 1523–1531. <https://doi.org/10.1016/j.jcmg.2021.02.018>

23. Pagnamenta A., Dewachter C., McEntee K. et al. Early right ventriculo-arterial uncoupling in borderline pulmonary hypertension on experimental heart failure. *J. Appl. Physiol.* (1985). 2010; 109: 1080–1085. <https://doi.org/10.1152/japplphysiol.00467.2010>
24. Lakatos B., Toser Z., Tokodi M. et al. Quantification of the relative contribution of the different right ventricular wall motion components to right ventricular ejection fraction: the ReVISION method. *Cardiovasc. Ultrasound.* 2017; 15 (1): 8. <https://doi.org/10.1186/s12947017-0100-0>
25. Smith B.C., Dobson G., Dawson D. et al. Three-dimensional speckle tracking of the right ventricle: toward optimal quantification of right ventricular dysfunction in pulmonary hypertension. *J. Am. Coll. Cardiol.* 2014; 64 (1): 41–51. <https://doi.org/10.1016/j.jacc.2014.01.084>
26. Badano L.P., Ghingina C., Easaw J. et al. Right ventricle in pulmonary arterial hypertension: haemodynamics, structural changes, imaging, and proposal of a study protocol aimed to assess remodeling and treatment effects. *Eur. J. Echocardiogr.* 2010; 11 (1): 27–37. <https://doi.org/10.1093/ejehocardiography/jep152>
27. Guazzi M., Gatto P., Giusti G. et al. Pathophysiology of cardiorenal syndrome in decompensated heart failure: role of lung-right heart-kidney interaction. *Int. J. Cardiol.* 2013; 169 (6): 379–384. <https://doi.org/10.1016/j.ijcard.2013.09.014>
28. Naeije R., Brimiouille S., Dewachter L. Biomechanics of the right ventricle in health and disease (2013 Grover Conference series). *Pulm. Circ.* 2014; 4 (3): 395–406. <https://doi.org/10.1086/677354>
29. Aloia E., Cameli M., D'Ascenzi F. et al. TAPSE: an old but useful tool in different diseases. *Int. J. Cardiol.* 2016; 225: 177–183. <https://doi.org/10.1016/j.ijcard.2016.10.009>
30. DeFilippis E.M., Guazzi M., Colombo P.C. et al. A right ventricular state of mind in the progression of heart failure with reduced ejection fraction: implications for left ventricular assist device therapy. *Heart Fail. Rev.* 2021; 26 (6): 1467–1475. <https://doi.org/10.1007/s10741-020-09935-x>
31. Damy T., Kallvikbacka-Bennett A., Goode K. et al. Prevalence of, associations with, and prognostic value of tricuspid annular plane systolic excursion (TAPSE) among out-patients referred for the evaluation of heart failure. *J. Card. Fail.* 2012; 18 (3): 216–225. <https://doi.org/10.1016/j.cardfail.2011.12.003>
32. Skidan V.I., Goda A.Y., Challa A.B. et al. Impact of plasma volume redistribution on outcomes in patients with heart failure with reduced ejection fraction. *Eur. Heart J. – Cardiovasc. Imaging.* 2023; 24 (Suppl. 1): jead119.260. <https://doi.org/10.1093/ehjci/jead119.260>
33. Houard L., Benaets M.-B., de Meester de Ravenstein C. et al. Additional prognostic value of 2D right ventricular speckle tracking strain for prediction of survival in heart failure and reduced ejection fraction: a comparative study with cardiac magnetic resonance. *J. Am. Coll. Cardiol. Cardiovasc. Imaging.* 2019; 12 (12): 2373–2385. <https://doi.org/10.1016/j.jcmg.2018.11.028>
34. Muraru D., Cucchini U., Mihăilă S. et al. Left ventricular myocardial strain by three-dimensional speckle-tracking echocardiography in healthy subjects: reference values and analysis of their physiologic and technical determinants. *J. Am. Soc. Echocardiogr.* 2014; 27 (8): 858–871.e1. <https://doi.org/10.1016/j.echo.2014.05.010>
35. Peluso D., Badano L.P., Muraru D. et al. Right atrial size and function assessed with three-dimensional and speckle-tracking echocardiography in 200 healthy volunteers. *Eur. Heart J. Cardiovasc. Imaging.* 2013; 14 (11): 1106–1114. <https://doi.org/10.1093/ehjci/jet024>
36. Lakatos B.K., Nabeshima Y., Tokodi M. et al. Importance of Nonlongitudinal Motion Components in Right Ventricular Function: Three-Dimensional Echocardiographic Study in Healthy Volunteers. *J. Am. Soc. Echocardiogr.* 2020; 33 (8): 995–1005.e1. <https://doi.org/10.1016/j.echo.2020.04.002>

Analysis of the significance of echocardiographic signs of right ventricular dysfunction for predicting the outcome of heart failure with reduced left ventricular ejection fraction

V.I. Skidan^{1*}, E.N. Pavlyukova², G.P. Nartsissova²,
V.M. Voronkov³, D.A. Astapov², E.V. Rosseykin¹

¹ Federal Center of Cardiovascular Surgery; 2b, Krasnodarskaya str., Khabarovsk 680009, Russian Federation

² National research Center – Academician E.N. Meshalkin State Research Institute of Circulation Pathology; 15, Rechkunovskaya str., Novosibirsk 630055, Russian Federation

³ The Far Eastern State Medical University; 35, Muravyov-Amursky str., Khabarovsk 680000, Russian Federation

Viktoria I. Skidan – Cand. of Sci. (Med.), Physician of the Clinical Diagnostics Department, Federal Center of Cardiovascular Surgery, Khabarovsk. <https://orcid.org/0000-0002-2627-3272>

Elena N. Pavlyukova – Doct. of Sci. (Med.), Professor, Head of the Scientific Department of Functional Diagnostics at National research Center – Academician E.N. Meshalkin State Research Institute of Circulation Pathology, Novosibirsk. <https://orcid.org/0000-0002-3081-9477>

Galina P. Nartsissova – Doct. of Sci. (Med.), Professor, Leading researcher of Department of Functional Diagnostics; Functional Diagnostics Physician of the Ultrasound and Functional Diagnostics Department at National research Center – Academician E.N. Meshalkin State Research Institute of Circulation Pathology, Novosibirsk. <https://orcid.org/0000-0001-6322-1087>

Vladislav M. Voronkov – a 6th year student of the Medical-prophylactic Faculty at the Far Eastern State Medical University, Khabarovsk. <https://orcid.org/0009-0009-2009-7501>

Dmitry A. Astapov – Doct. of Sci. (Med.), Deputy Director General for Clinical Work at National research Center – Academician E.N. Meshalkin State Research Institute of Circulation Pathology, Novosibirsk. <https://orcid.org/0000-0003-1130-7772>

Evgeny V. Rosseykin – Doct. of Sci. (Med.), Professor, Chief Physician of Federal Center of Cardiovascular Surgery, Khabarovsk. <https://orcid.org/0000-0003-0784-2246>

Correspondence* to Dr. Viktoria I. Skidan – e-mail: skivi5@yandex.ru

Objective: to determine the ultrasound signs of right heart dysfunction, which increase the prognostic value of the recommended parameters of left ventricular (LV) dysfunction in patients with heart failure with reduced ejection fraction (HFrEF).

Materials and methods. The prospective study included 79 patients with HFrEF LV with clinical manifestations of chronic heart failure functional class III according to the New York Heart Association (HF NYHA Class III) in 52 patients (65.8%) and HF NYHA Class IV in 27 (34.1%). The primary end point was death during a follow-up period of up to 3 years while waiting for heart transplantation.

Results. Overall mortality was 33 patients (41.7%), 17 (21.5%) during the 1st year of follow-up. Regression analysis revealed the following independent ultrasound predictors of poor prognosis: LV ejection fraction on 3D-echocardiography (3DE LVEF), $p = 0.014$; global longitudinal strain of the LV (GLS LV), $p = 0.010$, and of the interventricular septum basal segment (IVSLS BS), $p = 0.012$; mean longitudinal strain of the basal segment of the right ventricle free wall (FWLS BS RV), $p = 0.003$. Changes in the configuration and dilatation of the LV cavity, an increase in LV end-diastolic pressure, impaired contractility, and strain of the LV myocardium can affect the function of the right ventricle (RV) through the common interventricular septum (IVS). Dilatation of the RV due to an increase in the end diastolic area (RV EDA) of more than 30 cm² ($p = 0.012$) and end systolic area (RV ESA) of more than 25 cm² ($p = 0.001$), an increase in the volume of the right atrium (3DE AKI) of more than 100 ml ($p = 0.036$), and a decrease in the % inspiratory collapse of the inferior vena cava (% IVC) less than 30% ($p = 0.005$) demonstrated a prognostic significance in the observed patients. A decrease in the deformation properties of the pancreas due to the longitudinal component and impaired strain of the basal segment makes a greater contribution to RV dysfunction (FWLS BS, % < -15% ($p < 0.001$)).

Conclusions. RV dysfunction in patients with HFrEF is an unfavorable prognostic factor, independently associated with existing LV dysfunction. The most significant ultrasound sign for surveillance prediction of patients with LV HFrEF and RV dysfunction are indicators of ventricular myocardial deformation. Remodeling of the right chambers and dysfunction of the RV is a trigger for the separation of the RV and pulmonary artery, which ultimately leads to adverse outcomes.

Keywords: heart failure; myocardial global longitudinal strain; right ventricle; ejection fraction; myocardial dysfunction; outcome predictors

Conflict of interests. The authors have no conflicts of interest to declare.

Financing. This study had no sponsorship.

Citation: Skidan V.I., Pavlyukova E.N., Nartsissova G.P., Voronkov V.M., Astapov D.A., Rosseykin E.V. Analysis of the significance of echocardiographic signs of right ventricular dysfunction for predicting the outcome of heart failure with reduced left ventricular ejection fraction. *Ultrasound and Functional Diagnostics*. 2024; 2: 10–29. <https://doi.org/10.24835/1607-0771-021> (In Russian)