

Предикторы развития правожелудочковой недостаточности у пациентов после имплантации устройства механической поддержки левого желудочка

Ж.А. Шахраманова✉, О.Ю. Нарусов, М.И. Макеев, С.М. Смирнов, Е.В. Дзыбинская, К.Г. Ганаев, А.А. Ширяев, И.А. Меркулова, Д.В. Певзнер, М.А. Саидова, С.Н. Терешенко

ФГБУ «Национальный медицинский исследовательский центр кардиологии им. акад. Е.И. Чазова» Минздрава России, Москва, Россия

Аннотация

Цель. Определить предикторы ранней и поздней правожелудочковой недостаточности (ПЖН) по данным трансторакальной эхокардиографии (ЭхоКГ) и катетеризации правых отделов сердца (КПОС) у пациентов с имплантированным устройством механической поддержки левого желудочка (LVAD – left ventricular assist device).

Материалы и методы. В исследование включены 23 пациента с имплантированным LVAD. До имплантации всем пациентам выполнена трансторакальная ЭхоКГ с комплексной оценкой правого желудочка (ПЖ) с применением технологии спекл-трекинг ЭхоКГ и 3D-ЭхоКГ, а также КПОС с измерением стандартных показателей и расчетом индекса пульсации легочной артерии PAr_i.

Результаты. При однофакторном анализе выявлены 9 ЭхоКГ-предикторов и один предиктор по данным КПОС – PAr_i. Наибольшей площадью под ROC-кривой обладали 3D-фракция выброса правого желудочка (ФВПЖ) – 0,841, 95% доверительный интервал (ДИ) 0,677–1,006, чувствительность 0,889, специфичность 0,786; $p < 0,001$ с отрезным значением $\leq 42\%$ [отношение шансов (ОШ) 29,3 при 95% ДИ 2,6–336,4; $p = 0,007$] и PAr_i (площадь под ROC-кривой 0,869 при 95% ДИ 0,503–0,975, чувствительность 0,778, специфичность 0,857; $p < 0,001$) с пороговым значением ≤ 2 (ОШ 20 при 95% ДИ 1,2–333,3; $p = 0,035$). Комбинация этих показателей стала самой точной прогностической моделью (чувствительность 0,778, специфичность 1). Сочетание ЭхоКГ-параметров 3D-ФВПЖ и систолической скорости движения фиброзного кольца трикуспидального клапана по данным тканевой миокардиальной доплерографии обладает схожей чувствительностью (0,778) и чуть меньшей специфичностью (0,929).

Заключение. Оптимальный независимый ЭхоКГ-предиктор ранней ПЖН – 3D-ФВПЖ. Самой точной моделью оказалось сочетание 3D-ФВПЖ и PAr_i, однако комбинация только ЭхоКГ-параметров 3D-ФВПЖ и систолической скорости движения фиброзного кольца трикуспидального клапана по данным тканевой миокардиальной доплерографии уступает лишь немного в специфичности, что позволяет предварительно оценить риск ПЖН.

Ключевые слова: LVAD, искусственный левый желудочек, механическая поддержка кровообращения, правожелудочковая недостаточность
Для цитирования: Шахраманова Ж.А., Нарусов О.Ю., Макеев М.И., Смирнов С.М., Дзыбинская Е.В., Ганаев К.Г., Ширяев А.А., Меркулова И.А., Певзнер Д.В., Саидова М.А., Терешенко С.Н. Предикторы развития правожелудочковой недостаточности у пациентов после имплантации устройства механической поддержки левого желудочка. Терапевтический архив. 2025;97(4):322–328.

DOI: 10.26442/00403660.2025.04.203169

© ООО «КОНСИЛИУМ МЕДИКУМ», 2025 г.

Информация об авторах / Information about the authors

✉ **Шахраманова Жанна Александровна** – аспирант
отд. заболеваний миокарда и сердечной недостаточности.
E-mail: Jane-20498@mail.ru

Нарусов Олег Юрьевич – канд. мед. наук, ст. науч. сотр. отд.
заболеваний миокарда и сердечной недостаточности

Макеев Максим Игоревич – врач ультразвуковой диагностики

Смирнов Станислав Максимович – врач ультразвуковой
диагностики

Дзыбинская Елена Владимировна – д-р мед. наук, ст. науч. сотр.
лаб. анестезиологии и реанимации

Ганаев Камил Гаджимурадович – канд. мед. наук, мл. науч.
сотр. лаб. микрохирургии сердца и сосудов отд-ния сердечно-
сосудистой хирургии

Ширяев Андрей Андреевич – член-кор. РАН, д-р мед. наук,
проф., рук. лаб. микрохирургии сердца и сосудов сердечно-
сосудистой хирургии

Меркулова Ирина Алексеевна – врач-кардиолог палаты
реанимации и интенсивной терапии, мл. науч. сотр. отд.
неотложной кардиологии

Певзнер Дмитрий Вольфович – д-р мед. наук, гл. науч. сотр.
отд. неотложной кардиологии

Саидова Марина Абдулатиповна – д-р мед. наук, проф., рук.
отд. ультразвуковых методов исследования

Терешенко Сергей Николаевич – д-р мед. наук, проф., рук. отд.
заболеваний миокарда и сердечной недостаточности

✉ **Janna A. Shahramanova.** E-mail: Jane-20498@mail.ru;
ORCID: 0009-0007-9478-9530

Oleg Yu. Narusov. ORCID: 0000-0003-2960-0950

Maksim I. Makeev. ORCID: 0000-0002-4779-5088

Stanislav M. Smirnov. ORCID: 0000-0003-3570-457X

Elena V. Dzybinskaia. ORCID: 0000-0002-1849-442X

Kamil G. Ganaev. ORCID: 0000-0002-8438-2450

Andrey A. Shiryaev. ORCID: 0000-0002-3325-9743

Irina A. Merkulova. ORCID: 0000-0001-7461-3422

Dmitry V. Pevzner. ORCID: 0000-0002-5290-0065

Marina A. Saidova. ORCID: 0000-0002-3233-1862

Sergey N. Tereshchenko. ORCID: 0000-0001-9234-6129

Predictors of right ventricular failure in patients after left ventricular assist device implantation

Janna A. Shahramanova[✉], Oleg Yu. Narusov, Maksim I. Makeev, Stanislav M. Smirnov, Elena V. Dzybinskaia, Kamil G. Ganaev, Andrey A. Shiryayev, Irina A. Merkulova, Dmitry V. Pevzner, Marina A. Saidova, Sergey N. Tereshchenko

Chazov National Medical Research Center of Cardiology, Moscow, Russia

Abstract

Background. To determine predictors of early and late right ventricular failure (RVF) according to transthoracic echocardiography (TTEchoCG) and right heart catheterisation (RHC) in patients with left ventricular assist device (LVAD).

Materials and methods. Twenty-three patients with LVAD were included in the study. Before implantation, all patients underwent TTEchoCG with comprehensive evaluation of the right ventricle (RV) using speckle-tracking echocardiography (STE) and 3D-echocardiography (3D-RVEF), as well as RHC with measurement of standard indices and calculation of pulmonary artery pulsatility index (PAPi).

Results. The highest area under the ROC curve was the RV ejection fraction determined by 3D-RVEF (0.841 with 95% CI 0.677–1.006, sensitivity 0.889, specificity 0.786; $p < 0.001$) with a cut-off value $\leq 42\%$ (OR 29.3 with 95% CI 2.6–336.4; $p = 0.007$) and PAPi (area on ROC curve 0.869 with 95% CI 0.503–0.975, sensitivity 0.778, specificity 0.857; $p < 0.001$) with a threshold value ≤ 2.2 (OR 20 with 95% CI 1.2–333.3; $p = 0.035$). The combination of these parameters was the most accurate prognostic model (sensitivity 0.778, specificity 1). The combination of echocardiographic parameters – 3D-RVEF and systolic velocity of the tricuspid valve fibrous ring according to tissue myocardial Doppler (TMD: S'ml) has similar sensitivity (0.778) and slightly lower specificity (0.929).

Conclusion. The optimal independent echocardiographic predictor of early RVF is 3D-RVEF. The combination of 3D-RVEF and PAPi proved to be the most accurate model, but the combination of 3D-RVEF and S'ml-TMD echocardiographic parameters alone is only slightly inferior in specificity, which allows preliminary assessment of the risk of RVF.

Keywords: LVAD, artificial left ventricle, mechanical circulatory support, right ventricular failure

For citation: Shahramanova JA, Narusov OYu, Makeev MI, Smirnov SM, Dzybinskaia EV, Ganaev KG, Shiryayev AA, Merkulova IA, Pevzner DV, Saidova MA, Tereshchenko SN. Predictors of right ventricular failure in patients after left ventricular assist device implantation. *Terapevticheskii Arkhiv* (Ter. Arkh.). 2025;97(4):322–328. DOI: 10.26442/00403660.2025.04.203169

Введение

Имплантация устройства механической поддержки левого желудочка (left ventricular assist device – LVAD) – альтернативный метод лечения терминальной хронической сердечной недостаточности (ХСН) с низкой фракцией выброса левого желудочка (ФВЛЖ) [1]. Двухлетняя выживаемость после имплантации современных центрифугальных устройств с непрерывным потоком приближается к таковой после трансплантации сердца и достигает 79%, однако частота различных осложнений остается достаточно высокой [2]. Одно из наиболее распространенных и грозных осложнений – развитие правожелудочковой недостаточности (ПЖН) как в раннем послеоперационном, так и в отдаленном периоде. В консенсусе по механической поддержке кровообращения частота ее развития варьирует от 3 до 35% [3], а в крупном исследовании Momentum-3 составила 34% [4]. Распространенность зависит от исходной тяжести состояния пациентов, включенных в исследование, и использованных критериев диагноза ПЖН. Прогноз пациентов как с ранней, так и с поздней ПЖН значимо хуже, чем у пациентов без нее [5], поэтому в показаниях к имплантации устройства делается акцент на отсутствие тяжелой ПЖН [1]. Правильный отбор кандидатов на имплантацию LVAD помогает уменьшить риски осложнений и определяет успешное проведение операции и долгосрочный результат. Определение функции ПЖ на дооперационном этапе важно для понимания возможности имплантации LVAD. Недавнее исследование показало, что примерно у 43% амбулаторных пациентов с впервые диагностированной сердечной недостаточностью со сниженной ФВЛЖ уже наблюдается дисфункция ПЖ [6]. «Золотой стандарт» неинвазивной оценки внутрисердечной гемодинамики – трансторакальная эхокардиография (ТТЭхоКГ), однако из-за его формы и расположения подробное изучение работы ПЖ представляет сложности. Данные о прогностической значимости различных показателей противоречивы, и единой модели прогнозирования развития ПЖН не существу-

ет [7]. В большинстве центров окончательное решение о возможности имплантации принимается на основании результатов катетеризации правых отделов сердца (КПОС). Однако сейчас появились новые технологии ультразвуковых исследований, в том числе оценка деформации миокарда, 3D-режим, что позволяет более точно оценивать функцию ПЖ [8, 9]. На сегодняшний день в мире разрабатываются различные прогностические шкалы с использованием клинических критериев (профиль INTERMACS, потребность в инотропной поддержке) и гемодинамических параметров, полученных по данным ТТЭхоКГ и КПОС [10]. Тем не менее прогнозирование развития ПЖН остается нерешенной задачей, актуальность которой возрастает с учетом все большей распространенности применения LVAD в качестве целевой терапии.

Цель исследования – определение предикторов развития ранней и поздней ПЖН по данным ЭхоКГ и КПОС, а также создание моделей, показывающих вероятность развития ПЖН у пациентов с имплантированными LVAD.

Материалы и методы

Исследование выполнено в 2022–2023 гг. в рамках клинической апробации «Поддержание функции левого желудочка с применением метода имплантации центрифугальной системы вспомогательного кровообращения пациентам с хронической сердечной недостаточностью III или IV функционального класса (NYHA), не включенным в лист ожидания трансплантации сердца либо включенным, но находящимся в стадии жизнеугрожающей декомпенсации и ухудшения состояния здоровья» Минздрава России №2021-11-5. В исследование включены 23 пациента с имплантированным LVAD. Исходно всем пациентам выполнялась ТТЭхоКГ с определением функции правых камер сердца, в том числе с применением технологии спекл-трекинг ЭхоКГ и 3D-режима ЭхоКГ. Оценивались следующие показатели: передне-задний размер ПЖ (ПЗРПЖ), базальный размер ПЖ (БРПЖ), трикуспидальная регур-

гитация (ТР), систолическое давление в легочной артерии (СДЛА), фракция выброса ПЖ (ФВПЖ), фракция изменения площади ПЖ (RV FAC), продольная деформация миокарда свободной стенки правого желудочка (fwRVLS), соотношение fwRVLS/СДЛА, систолическая экскурсия кольца трикуспидального клапана (TAPSE), соотношение TAPSE/СДЛА, систолическая скорость движения фиброзного кольца трикуспидального клапана по данным тканевой миокардиальной доплерографии (S'ml-ТМД), индекс сферичности ПЖ. Также всем пациентам выполнена КПОС с определением следующих параметров: центральное венозное давление (ЦВД), СДЛА, диастолическое давление в легочной артерии (ДДЛА), соотношение ЦВД/СДЛА, индекс пульсации легочной артерии, рассчитанный по формуле: $РАРi = \text{СДЛА} - \text{ДДЛА} / \text{ЦВД}$. Ранняя ПЖН определялась как клинические проявления (отеки, асцит, повышенное ЦВД) в течение первых 14 сут после имплантации устройства, требующие пролонгации введения инотропных препаратов более 7 сут, и/или как минимум двукратного увеличения дозы диуретической терапии, или имплантации ПЖ-обхода. Поздняя ПЖН диагностировалась в случае появления клинических признаков застоя по большому кругу кровообращения, требующих как минимум двукратного увеличения дозы диуретиков, более чем через 14 сут с момента имплантации LVAD.

Статистический анализ данных осуществлялся с помощью пакета прикладных программ Excel 2010 и статистических программ SPSS 17.0.5. Описательная статистика количественных переменных после анализа нормальности распределения представлена в виде среднего значения (M) со стандартным отклонением (SD) при нормальном распределении и в виде медианы с межквартильным размахом [Me , Lq ; Uq] при ненормальном распределении. Для оценки диагностической значимости и отрезных значений предикторов применялся ROC-анализ. Оценка влияния факторов на исход проводилась с помощью одно- и многофакторного регрессионного анализа Кокса. Оценивали отношение шансов (ОШ) с 95% доверительным интервалом (ДИ) для каждой переменной. ОШ 1 указывало на отсутствие ассоциации, значение ОШ >1 – на положительную ассоциацию, а ОШ <1 – отрицательную ассоциацию. Оценка независимости параметров ЭхоКГ и РАРi выполнена при помощи логистической регрессии. Уровень статистической значимости установлен на уровне $p < 0,05$ для всех тестов.

Результаты

Клинико-демографическая характеристика пациентов, включенных в исследование, представлена в **табл. 1**.

Для поиска предикторов пациенты разделены на группы с учетом наличия ПЖН. Поздняя ПЖН в нашем исследовании развилась у 4 (17,4%) пациентов, из них только один не имел ПЖН в раннем послеоперационном периоде. У одного из пациентов поздняя ПЖН обусловлена повреждением свободной стенки ПЖ с необходимостью наложения заплаты из ксеноперикарда во время рестернотомии по поводу кровотечения. Пациент в дальнейшем анализе не учитывался. Малое число пациентов и факт наличия у них ПЖН как в раннем, так и в позднем послеоперационном периоде не позволяют проводить статистический анализ для выявления отдельных предикторов развития поздней ПЖН. Наиболее важный предиктор поздней ПЖН в нашем исследовании – ПЖН в раннем послеоперационном периоде.

В ходе анализа сформировано 2 группы: группа 1 – пациенты с ранней ПЖН (9 человек), группа 2 – пациенты

Таблица 1. Клинико-демографическая характеристика пациентов

Table 1. Clinical and demographic characteristics of patients

Показатель	Значение
Возраст, лет	62 [54; 65]
Пол: мужчины, абс. (%)	23 (100)
Этиология ХСН, абс. (%):	
ИБС: ПИКС	13 (56,5)
ДКМП	10 (43,5)
ФК ХСН, абс. (%):	
III	19 (82,6)
IV	4 (17,4)
Класс INTERMACS, абс. (%):	
III	3 (13)
IV	19 (83)
V	1 (4)
Наличие ФП, абс. (%)	13 (56,5)
Пароксизмальная форма, абс. (%)	7 (53,8)
Постоянная форма, абс. (%)	6 (46,2)
Сахарный диабет 2-го типа, абс. (%)	3 (13)
ИМТ, кг/м ²	26 [23; 29]
NTproBNP, пг/мл	2239 [1623; 4057]
ФВЛЖ, %	23 [20; 24]

Примечание. ИБС: ПИКС – ишемическая болезнь сердца; постинфарктный кардиосклероз, ДКМП – дилатационная кардиомиопатия, ФК – функциональный класс, ФП – фибрилляция предсердий, ИМТ – индекс массы тела, NTproBNP – мозговой натрийуретический пептид.

без ранней ПЖН (14 человек). Клинико-демографическая характеристика, данные ТТЭхоКГ и КПОС представлены в **табл. 2**.

При сопоставлении исходных параметров выявлены достоверные различия 9 ЭхоКГ-показателей, характеризующих работу правых отделов сердца: ПЗР ПЖ, БРПЖ, ТР, 3Д-ФВПЖ, RV FAC, fwRVLS, TAPSE/СДЛА, fwRVLS/СДЛА, S'ml-ТМД, а также одного параметра КПОС – РАРi. Интересно, что пациенты группы 1 имели не только признаки дисфункции ПЖ, но и худшую сократимость ЛЖ, больший его объем, а также тенденцию к более высоким значениям мозгового натрийуретического пептида.

ЭхоКГ-предикторы

Для поиска ЭхоКГ-предикторов развития ранней ПЖН проведен однофакторный регрессионный анализ. Свою значимость показали 9 параметров. При помощи ROC-анализа определены отрезные значения, обладающие наиболее высокой чувствительностью и специфичностью. Результаты представлены на **рис. 1** и в **табл. 3**.

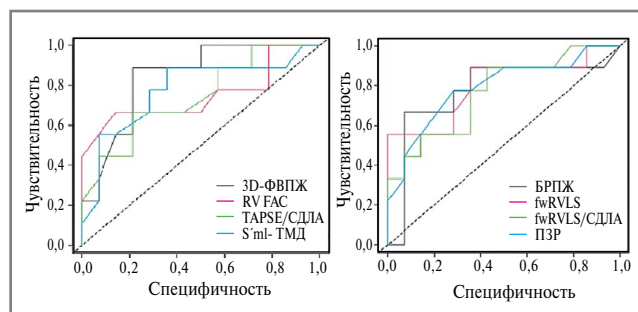
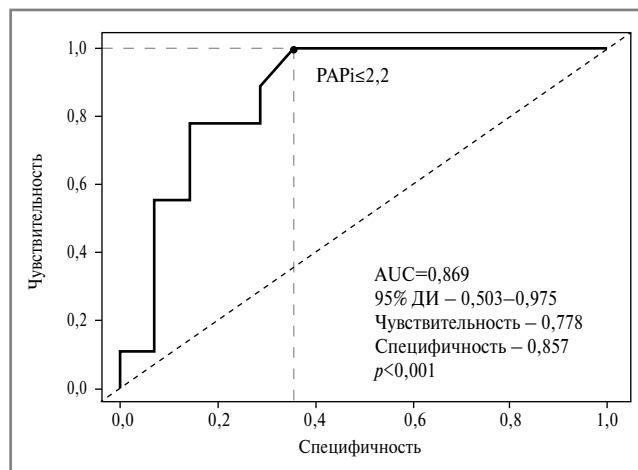
Показатель со 100% специфичностью, но недостаточно высокой чувствительностью (0,556) – fwRVLS со значением $\leq -16\%$. Оптимальным соотношением чувствительности/специфичности (0,889/0,786) обладает 3Д-ФВПЖ – площадь под кривой 0,841 (95% ДИ 0,677–1,006) при 3Д-ФВПЖ $\leq 42\%$.

Таблица 2. Характеристика групп пациентов, включенных в исследование**Table 2. Characterisation of the patient groups included in the study**

Показатель	Группа 1 (n=9)	Группа 2 (n=14)	p
Возраст, лет	57,1±11,6	60,5±9,4	0,451
Этиология, абс. (%):			
ИБС	6 (66,7)	10 (71,4)	0,813
ДКМП	3 (33,3)	4 (28,6)	0,813
ФВЛЖ, %	19,6±3,1	23,4±3,2	0,011
КДР, см	7,8±0,7	7,4±0,6	0,174
КДО ЛЖ, мл	376,9±114,7	296,4±67,4	0,045
СДЛА, мм рт. ст.	35,0 [27,0; 42,0]	28,5 [23,0; 39,0]	0,174
Степень ТР, абс. (%)			
<2	4 (44,4)	13 (92,9)	0,012
≥2	5 (55,6)	1 (7,1)	
ПЗР, см	3±0,5	2,55±0,4	0,022
БРПЖ, см	4,6 [4,3; 4,7]	3,6 [3,2; 4,4]	0,029
Длинник ПЖ, см	8,0±1,0	7,6±0,8	0,356
TAPSE, см	1,3 [1,2; 1,7]	1,68 [1,6; 1,9]	0,113
3D-ФВПЖ, %	37,6±6,4	46,3±6,8	0,006
RV FAC, %	34,2±10,5	42,9±8,6	0,041
fwRVLS, %	-15,9±6,2	-21,9±4,2	0,011
TAPSE/СДЛА	0,04±0,02	0,06±0,02	0,047
fwRVLS/СДЛА	-0,49±0,26	-0,76±0,25	0,023
ПЖ/ЛЖ	0,65±0,10	0,56±0,09	0,058
Индекс сферичности	0,55±0,05	0,50±0,08	0,094
S'ml-ТМД	7,6±1,4	8,9±1,1	0,021
NT-proBNP, пг/мл	2963,0 [1731,0; 4419]	2015,5 [1060,0; 3218,0]	0,166
ЦВД, мм рт. ст.	7,8±2,9	5,8±3,6	0,177
ДЗЛК, мм рт. ст.	18,2±6,8	16,6±6,8	0,658
ЦВД/ДЗЛК	0,44±0,1	0,34±0,14	0,076
СДЛА, мм рт. ст.	40,9±17,2	38,9±15,3	0,925
СрДЛА, мм рт. ст.	26,6±12,3	26,5±11,5	1,000
ЛСС, ед. Вуда	2,86±1,3	2,55±1,2	0,488
РАРi	2,0±0,9	3,8±1,3	0,003

Примечание. КДР – конечно-диастолический размер, КДО – конечно-диастолический объем, ДЗЛК – давление закаливания в легочной артерии, СрДЛА – среднее давление в легочной артерии, ЛСС – легочное сосудистое сопротивление.

Этот же показатель в наибольшей степени влияет на вероятность развития ранней ПЖН (ОШ 29,3 при 95% ДИ 2,6–336,4; $p=0,007$); табл. 4. Другие анализируемые ЭхоКГ-параметры также связаны с более высоким риском развития ПЖН, однако их значимость меньше либо они имеют худшее соотношение чувствительности/специфичности.

**Рис. 1. ЭхоКГ-предикторы. ROC-анализ.****Fig. 1. Echocardiographic predictors. ROC-analysis.****Рис. 2. Предикторы по данным КПОС. ROC-анализ.****Fig. 2. Predictors identified by right heart catheterisation data.**

Предикторы по данным КПОС

Из всех инвазивных параметров центральной гемодинамики статистически значимо между 2 группами различался только РАРi. Этот же показатель в ходе ROC-анализа продемонстрировал наибольшую прогностическую ценность (площадь под ROC-кривой 0,869 при 95% ДИ 0,503–0,975; $p<0,001$, чувствительность 0,778, специфичность – 0,857). Вероятность наступления ранней ПЖН статистически значимо выше при наличии у пациентов значения РАРi≤2,2 (рис. 2), ОШ – 24,5 при 95% ДИ 2,4–200,0; $p=0,006$.

Независимые предикторы ранней ПЖН

Для выявления независимых от РАРi ЭхоКГ-предикторов ПЖН проведен анализ с использованием бинарной логистической регрессии. Только 3D-ФВПЖ сохранила свою значимость после корректировки на РАРi (ОШ 20 при 95% ДИ 1,2–333,3; $p=0,035$). Связь между другими информативными параметрами и ПЖН перестала быть значимой.

Модели прогнозирования ПЖН

Параметры, показавшие свою связь с ПЖН при однофакторном анализе, включены в различные прогностические модели. Наибольшую специфичность в 100% продемонстрировала комбинация РАРi и 3D-ФВПЖ, чувствительность составила 0,778. Модель, включающая только ЭхоКГ-показатели 3D-ФВПЖ и S'ml-ТМД, несколько уступила в специфичности (0,929), но сохранила такую же чувствительность (0,778) – ОШ 45,5 при 95% ДИ 3,5–594,7; $p=0,001$.

Таблица 3. ЭхоКГ-предикторы. ROC-анализ
Table 3. Echocardiographic predictors. ROC-analysis

Маркер	Оптимальное отрезное значение	AUC	95% ДИ	Чувствитель- ность	Специфич- ность	p
3D-ФВПЖ, %	42	0,841	0,677–1,006	0,889	0,786	<0,001
fwRVLS, %	-16	0,798	0,587–1,008	0,556	1,000	0,006
ПЗР, см	2,8	0,790	0,585–0,994	0,778	0,714	0,006
S'ml-ТМД	8,7	0,778	0,561–0,994	0,889	0,643	0,012
БППЖ, см	4,6	0,774	0,541–1,006	0,667	0,929	0,021
fwRVLS/СДЛА	-0,667	0,766	0,559–0,973	0,889	0,571	0,012
RV FAC, %	35	0,750	0,508–0,992	0,667	0,857	0,042
TAPSE/СДЛА	0,049	0,742	0,527–0,958	0,667	0,786	0,028

Таблица 4. ЭхоКГ-предикторы. Однофакторный
регрессионный анализ
Table 4. Echocardiographic predictors. Single-factor
regression analysis

Маркер	p	ОШ	95% ДИ	
			Нижняя	Верхняя
fwRVLS	0,024	16,1	1,4	200,0
БППЖ	0,009	26,3	2,2	333,3
3D-ФВПЖ	0,007	29,3	2,6	336,4
ПЗР ПЖ	0,029	8,8	1,24	62,5
fwRVLS/СДЛА	0,047	10,6	1,0	111,1
S'ml-ТМД	0,026	14,5	1,4	142,9
RV FAC	0,017	12,0	1,6	90,9
TAPSE/СДЛА	0,038	7,4	1,1	47,6
TP	0,018	16,25	1,4	183,1

Обсуждение

ПЖН – одно из наиболее распространенных осложнений, значимо ухудшающее прогноз пациентов с имплантированным LVAD [11]. Вместе с тем четкие общепринятые критерии ПЖН отсутствуют. Только в 2024 г. в Клиническом консенсусном заявлении Ассоциации сердечной недостаточности (HFA) Европейского общества кардиологов предложены критерии ранней и поздней ПЖН [7]. Ранняя ПЖН определяется потребностью в ПЖ-обходе (любой продолжительности) или инотропной поддержке более 14 дней в первые 30 дней, а также рядом клинических, лабораторных и инструментальных признаков ПЖН или необходимостью в снижении производительности LVAD на 30% и более. В большинстве работ в качестве критериев ПЖН используются потребность в ПЖ-обходе или пролонгации свыше 7 или 14 дней медикаментозной инотропной поддержки [5]. В ряде других исследований принимали во внимание потребность в увеличении доз диуретиков. Соответственно, и предикторы ПЖН, и их отрезные значения также разнятся. Еще одной причиной отличий может быть использование разных моделей LVAD. Кроме того, развитие ЭхоКГ привело к появлению новых технологий и показателей, которые достоверно характеризуют функцию ПЖ, но ранее не изучались в качестве предикторов ПЖН. Все это затрудняет сравнение результатов исследований. В нашей

работе частота развития ПЖН выше, чем в таких крупных исследованиях, как MOMENTUM 3, регистр INTERMACS, ELEVATE (52,2% vs 15,3–34,2%) [2, 3, 12]. Вероятно, причина таких различий – более мягкие критерии ПЖН в нашем исследовании, которые, помимо прочих, включали увеличение дозы диуретиков. В то же время тяжелая ПЖН, требующая установки правожелудочкового обхода, развилась только у 2 (15% от всех случаев ПЖН) пациентов, что сопоставимо с исследованием MOMENTUM 3 (12%) [2].

Прогнозирование развития ПЖН – важная задача на дооперационном этапе. В большинстве работ, и в клинической практике в первую очередь, во внимание принимаются показатели КПОС, наиболее информативный из которых – PAPi. В систематическом обзоре 2023 г. сообщалось о 10 исследованиях, показавших значимость PAPi в качестве предиктора развития ПЖН [13]. При этом пороговое значение индекса колебалось в широком диапазоне – от 0,8 до 3,3 [14, 15]. Авторы делают вывод о невозможности определить какое-либо одно значение, так как оно зависит от сосудистого легочного сопротивления. В нашем исследовании PAPi подтвердил свою прогностическую значимость с пороговым значением 2,2, наибольшей площадью под ROC-кривой и достаточно высокой чувствительностью и специфичностью.

Мнения об использовании ЭхоКГ-показателей в качестве предикторов ПЖН противоречивы. Например, в работе, выполненной в университете Сиены, наибольший вес имел fwRVLS с площадью под ROC-кривой 0,93. Его значение у пациентов с ПЖН в среднем составляло -7,9±1,29% vs -15,99±5,1% у пациентов без ПЖН [16]. Исследователями университета штата Юта показано, что единственный значимый прогностический ЭхоКГ-параметр – RV FAC с отрезным значением <35% [17]. М. Kukucka и соавт. опубликовали результаты, в которых среди большого количества исследуемых параметров наибольшую значимость показало соотношение ПЖ/ЛЖ>0,72 [18].

Наши результаты отчасти согласуются с уже опубликованными исследованиями. Так, наибольшую специфичность, равную 1,0, продемонстрировал fwRVLS, однако низкая чувствительность не позволяет использовать его в качестве единственного предиктора. Отличительная особенность нашего исследования – использование относительно новой технологии 3D-ЭхоКГ ПЖ. Этот режим позволяет точно оценить ФВПЖ, результаты такого измерения сопоставимы с «золотым стандартом» определения ФВПЖ – магнитно-резонансной томографией сердца [19]. В нашей работе показатель 3D-ФВПЖ≤42% обладал наилучшим соотношением чувствительности и специфично-

сти среди всех ЭхоКГ-параметров и в наибольшей степени связан с риском развития ПЖН с ОШ 29,3. Принципиально важно, что 3D-ФВПЖ – единственный ЭхоКГ-независимый от инвазивного показателя RARi предиктор ПЖН. ФВПЖ в 3D-режиме у пациентов перед имплантацией LVAD изучалась всего в нескольких исследованиях. В работе Н. Magunia и соавт. значимыми предикторами оказались 3D-ФВПЖ с отрезным значением 24,8% и fwRVLS, также измеренный в 3D-режиме, с отрезным значением -10,1%. В обоих случаях чувствительность составила 100% при практически одинаковой специфичности (61,9 и 66,7% соответственно). Особенность работы – чреспищеводное выполнение 3D-ЭхоКГ, а также строгие критерии ПЖН – потребность в ПЖ-обходе (проводилась в 3 случаях ПЖН из 5) или длительной инотропной поддержке [20]. По всей видимости, именно последним обстоятельством объясняются более низкие пороговые значения и низкая специфичность при высокой чувствительности. В еще одной работе, посвященной предимплантационной 3D-ЭхоКГ, свою значимость в качестве независимых предикторов ПЖН продемонстрировали индексированные объемы ПЖ, но не ФВПЖ, хотя она значимо ниже, чем у пациентов без ПЖН (19,6±11% vs 33,6±9%) [21]. Наглядно иллюстрирует информативность 3D-ФВПЖ для прогнозирования ПЖН тот факт, что у 2 пациентов, имевших показания к имплантации ПЖ-обхода, ФВПЖ оказалась намного ниже (26 и 29%), чем у других пациентов с ПЖН. Другой важный параметр, RARi, у одного из этих пациентов оставался хотя и ниже пороговой цифры, но относительно сохранным (2,1).

Для увеличения точности прогноза развития ПЖН мы создали несколько моделей. Наиболее специфичной (1,0) оказалась комбинация RARi и 3D-ФВПЖ, при этом чувствительность осталась на приемлемом уровне (0,778). Интересно, что ЭхоКГ-модель (3D-ФВПЖ+ S'ml-ТМД) обладает такой же чувствительностью и незначительно уступает в специфичности. Ряд представленных в литературе моделей включают клинично-лабораторные предикторы и параметры центральной гемодинамики, такие как профиль INTERMACS, уровень креатинина, гемоглобина, тромбоцитов, легочное сосудистое сопротивление, ЦВД/давление закаливания в легочной артерии [17, 18]. Наиболее известны 4 модели: Michigan [22], EUROMACS-RHF [23], CRITT [24], шкала SIENA [10], а также калькулятор STOP-RVF [25]. Важное достоинство нашей модели – малое количество включенных в нее показателей, что делает ее удобной в применении. Более того, добавление других параметров только ухудшает их чувствительность.

Заключение

Лучшим и, что важно, независимым ЭхоКГ-предиктором развития ПЖН после имплантации LVAD оказалась ФВПЖ

(3D-ЭхоКГ). По своей чувствительности она превзошла инвазивный параметр RARi, незначительно уступив в специфичности. Комбинация этих 2 показателей оказалась самой точной прогностической моделью. Предварительно оценить риск ПЖН можно, используя только ЭхоКГ-параметры 3D-ФВПЖ и S'ml-ТМД, сочетание которых лишь немного уступает в специфичности, но обладает такой же чувствительностью.

Основное ограничение исследования – небольшая выборка пациентов. Это не позволяет нивелировать влияние случайных событий и может влиять на результаты исследования. Для подтверждения или опровержения результатов требуется проведение более крупных исследований.

Раскрытие интересов. Авторы декларируют отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов, связанных с публикацией настоящей статьи.

Disclosure of interest. The authors declare that they have no competing interests.

Вклад авторов. Авторы декларируют соответствие своего авторства международным критериям ICMJE. Все авторы в равной степени участвовали в подготовке публикации: разработка концепции статьи, получение и анализ фактических данных, написание и редактирование текста статьи, проверка и утверждение текста статьи.

Authors' contribution. The authors declare the compliance of their authorship according to the international ICMJE criteria. All authors made a substantial contribution to the conception of the work, acquisition, analysis, interpretation of data for the work, drafting and revising the work, final approval of the version to be published and agree to be accountable for all aspects of the work.

Источник финансирования. Авторы декларируют отсутствие внешнего финансирования для проведения исследования и публикации статьи.

Funding source. The authors declare that there is no external funding for the exploration and analysis work.

Соответствие принципам этики. Протокол исследования одобрен локальным этическим комитетом (ФГБУ «НМИЦК им. акад. Е.И. Чазова», протокол №294). Одобрение и процедуру проведения протокола получали по принципам Хельсинкской декларации.

Compliance with the principles of ethics. The study protocol was approved by the local ethics committee (Chazov National Medical Research Center of Cardiology, Minutes №294). Approval and protocol procedure was obtained according to the principles of the Declaration of Helsinki.

Информированное согласие на публикацию. Пациенты подписали форму добровольного информированного согласия на публикацию медицинской информации.

Consent for publication. Written consent was obtained from the patients for publication of relevant medical information and all of accompanying images within the manuscript.

Список сокращений

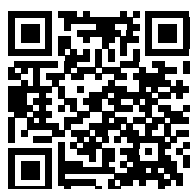
БРПЖ – базальный размер правого желудочка
ДДЛА – диастолическое давление в легочной артерии
ДИ – доверительный интервал
КПОС – катетеризация правых отделов сердца
ОШ – отношение шансов
ПЖН – правожелудочковая недостаточность
ПЗРПЖ – передне-задний размер правого желудочка
СДЛА – систолическое давление в легочной артерии
ТР – трикуспидальная регургитация
ТТЭхоКГ – трансторакальная эхокардиография
ФВЛЖ – фракция выброса левого желудочка
ФВПЖ – фракция выброса правого желудочка
ХСН – хроническая сердечная недостаточность

ЦВД – центральное венозное давление
S'ml-ТМД – систолическая скорость движения фиброзного кольца трикуспидального клапана по данным тканевой миокардиальной доплерографии
RV FAC – фракция изменения площади правого желудочка
fwRVLS – изменение деформации миокарда свободной стенки правого желудочка
LVAD (left ventricular assist device) – устройства механической поддержки левого желудочка
RARi – индекс пульсации легочной артерии, рассчитанный по формуле: СДЛА-ДДЛА/ЦВД
TAPSE – систолическая экскурсия кольца трикуспидального клапана

ЛИТЕРАТУРА/REFERENCES

- McDonagh T, Metra M, Adamo M, et al. 2021 ESC Guidelines for the diagnosis and treatment of acute and chronic heart failure. *Eur Heart J*. 2021;42(36):3599-726. DOI:10.1093/eurheartj/ehab368
- Mehra M, Cleveland J, Uriel N, et al. Primary results of long-term outcomes in the MOMENTUM 3 pivotal trial and continued access protocol study phase: a study of 2200 HeartMate 3 left ventricular assist device implants. *Eur J Heart Fail*. 2021;23(8):1392-400. DOI:10.1002/ehf.2211
- Yuzefpolskaya M, Schroeder S, Houston B, et al. The Society of Thoracic Surgeons Intermacs 2022 Annual Report: Focus on the 2018 Heart Transplant Allocation System. *Ann Thorac Surg*. 2023;115:311-27. DOI:10.1016/j.athoracsur.2022.11.023
- Chatterjee A, Feldmann C, Hanke J, et al. The momentum of HeartMate 3: A novel active magnetically levitated centrifugal left ventricular assist device (LVAD). *J Thorac Dis*. 2018;10:1790-3. DOI:10.21037/jtd.2017.10.124
- Wagner T, Bernhardt A, Magnussen C, et al. Right heart failure before LVAD implantation predicts right heart failure after LVAD implantation – Is it that easy? *J Cardiothorac Surg*. 2020;15(1). DOI:10.1186/s13019-020-01150-x
- Ramandi M, Melle J, Gorter T, et al. Right ventricular dysfunction in patients with new-onset heart failure: longitudinal follow-up during guideline-directed medical therapy. *Eur J Heart Fail*. 2022;24(12):2226-34. DOI:10.1002/ehf.2721
- Adamopoulos S, Bonios M, Gal T, et al. Right heart failure with left ventricular assist devices: Preoperative, perioperative and postoperative management strategies. A clinical consensus statement of the Heart Failure Association (HFA) of the ESC. *Eur J Heart Fail*. 2024;26(11):2304-22. DOI:10.1002/ehf.3323
- Stainback R, Estep J, Agler D, et al. Echocardiography in the Management of Patients with Left Ventricular Assist Devices: Recommendations from the American Society of Echocardiography. *J Am Soc Echocardiogr*. 2015;28(8):853-909. DOI:10.1016/j.echo.2015.05.008
- Estep J, Nicoara A, Cavalcante J, et al. Recommendations for Multimodality Imaging of Patients With Left Ventricular Assist Devices and Temporary Mechanical Support: Updated Recommendations from the American Society of Echocardiography. *J Am Soc Echocardiogr*. 2024;37(9):820-71. DOI:10.1016/j.echo.2024.06.005
- Cameli M, Loiacono F, Sparla S, et al. Systematic left ventricular assist device implant eligibility with non-invasive assessment: The siena protocol. *J Cardiovasc Ultrasound*. 2017;25(2):39-46. DOI:10.4250/jcu.2017.25.2.39
- Shad R, Fong R, Quach N, et al. Long-term survival in patients with post-LVAD right ventricular failure: multi-state modelling with competing outcomes of heart transplant. *J Heart Lung Transplant*. 2021;40(8):778-85. DOI:10.1016/j.healun.2021.05.002
- Mehra M, Castagna F, Butler J. The transformative potential of left ventricular assist devices in advanced heart failure: no more a therapeutic orphan. *Eur Heart J*. 2024;45(8):626-8. DOI:10.1093/eurheartj/ehad555
- Yim I, Khan-Kheil A, Drury N, Lim H. A systematic review and physiology of pulmonary artery pulsatility index in left ventricular assist device therapy. *Interdisc Cardiovasc Thorac Surg*. 2023;36(5). DOI:10.1093/icvts/ivad068
- Nitta D, Kinugawa K, Imamura T, et al. A useful scoring system for predicting right ventricular assist device requirement among patients with a paracorporeal left ventricular assist device. *Int Heart J*. 2018;59(5):983-90. DOI:10.1536/ihj.17-487
- Gonzalez M, QWang, Yaranov D, et al. Dynamic Assessment of Pulmonary Artery Pulsatility Index Provides Incremental Risk Assessment for Early Right Ventricular Failure After Left Ventricular Assist Device. *J Card Fail*. 2021;27(7):777-85. DOI:10.1016/j.cardfail.2021.02.012
- Stricagnoli M, Sciacaluga C, Mandoli G, et al. Clinical, echocardiographic and hemodynamic predictors of right heart failure after LVAD placement. *Int J Cardiovasc Imaging*. 2022;38(3):561-70. DOI:10.1007/s10554-021-02433-7
- Silverton N, Patel R, Zimmerman J, et al. Intraoperative Transesophageal Echocardiography and Right Ventricular Failure After Left Ventricular Assist Device Implantation. *J Cardiothorac Vasc Anesth*. 2018;32(5):2096-103. DOI:10.1053/j.jvca.2018.02.023
- Kukucka M, Stepanenko A, Potapov E, et al. Right-to-left ventricular end-diastolic diameter ratio and prediction of right ventricular failure with continuous-flow left ventricular assist devices. *J Heart Lung Transplant*. 2011;30(1):64-9. DOI:10.1016/j.healun.2010.09.006
- Shimada Y, Shiota M, Siegel R, Shiota T. Accuracy of right ventricular volumes and function determined by three-dimensional echocardiography in comparison with magnetic resonance imaging: A meta-analysis study. *J Am Soc Echocardiogr*. 2010;23(9):943-53. DOI:10.1016/j.echo.2010.06.029
- Magunia H, Dietrich C, Langer H, et al. 3D echocardiography derived right ventricular function is associated with right ventricular failure and mid-term survival after left ventricular assist device implantation. *Int J Cardiol*. 2018;272:348-55. DOI:10.1016/j.ijcard.2018.06.026
- Kiernan M, French A, DeNofrio D, et al. Preoperative three-dimensional echocardiography to assess risk of right ventricular failure after left ventricular assist device surgery. *J Card Fail*. 2015;21(3):189-97. DOI:10.1016/j.cardfail.2014.12.009
- Matthews J, Koelling T, Pagani F, Aaronson K. The Right Ventricular Failure Risk Score. A Pre-Operative Tool for Assessing the Risk of Right Ventricular Failure in Left Ventricular Assist Device Candidates. *J Am Coll Cardiol*. 2008;51(22):2163-72. DOI:10.1016/j.jacc.2008.03.009
- Soliman O, Akin S, Muslem R, et al. Derivation and validation of a novel right-sided heart failure model after implantation of continuous flow left ventricular assist devices. *Circulation*. 2018;137(9):891-906. DOI:10.1161/CIRCULATIONAHA
- Atluri P, Goldstone A, Fairman A, et al. Predicting right ventricular failure in the modern, continuous flow left ventricular assist device era. *Ann Thorac Surg*. 2013;96(3):857-64. DOI:10.1016/j.athoracsur.2013.03.099
- Taleb I, Kyriakopoulos CP, Fong R, et al. Machine Learning Multicenter Risk Model to Predict Right Ventricular Failure After Mechanical Circulatory Support: The STOP-RVF Score. *JAMA Cardiol*. 2024;9(3):272-82. DOI:10.1001/jamacardio.2023.5372

Статья поступила в редакцию / The article received: 13.01.2025



OMNIDOCTOR.RU