Российский кардиологический журнал 2023;28(6):5264
doi:10.15829/1560-4071-2023-5264
https://russjcardiol.elpub.ru

ОРИГИНАЛЬНЫЕ СТАТЬИ
ISSN 1560-4071 (print)
ISSN 2618-7620 (online)

Правожелудочковая дисфункция в качестве предиктора осложнений в кардиохирургии левых пороков сердца

Голухова Е.З.[1], Сливнева И.В.[1], Скопин И.И.[1], Фарулова И.Ю.[1], Пирушкина Ю.Д.[1], Мурысова Д.В.[1], Марапов Д.И.[2], Волковская И.В.[1]

Цель. Анализ функциональных возможностей правого желудочка (ПЖ) в когорте гетерогенных кардиохирургических пациентов с вальвулопатией левых камер сердца и определение вклада признаков ПЖ дисфункции в осложненный послеоперационный период по данным эхокардиографии.

Материал и методы. Проводилось одноцентровое проспективное исследование пациентов с пороками левых камер сердца, оперированных в 2022г. Возраст варьировал от 20 до 81 года (медиана 58 лет). Исследование проводилось на системе PHILIPS EPIQ CVx с использованием датчика X5-1.

Результаты. Для оценки вероятности осложненного послеоперационного периода в зависимости от различных показателей оценки систолической функции ПЖ был проведен ROC-анализ. ROC-кривая показателя продольной деформации свободной стенки ПЖ (LS RV FW) характеризовалась наивысшим значением area under curve (AUC) среди других функциональных показателей ПЖ, равным 0,81±0,06 (95% доверительный интервал (ДИ): 0,68-0,93, p<0,001). В качестве точки cut-off LS RV FW для прогнозирования осложненного послеоперационного периода было выбрано значение 20%. При LS RV FW <20% вероятность развития осложненного течения была выше в 19,2 раза (95% ДИ: 5,64-65,50), по сравнению с группой показателя LS RV FW ≥20%, p<0,05. Шансы наличия сердечной недостаточности (СН) в группе показателя LS RV FW <20% были выше в 22,78 раза (95% ДИ: 5,90-88,04) по сравнению с группой показателя LS RV FW ≥20%, p<0,05.

Заключение. Показатель LS RV FW <20% можно считать независимым предиктором развития осложненного послеоперационного периода с многократным возрастанием риска осложнений — преимущественно, риска СН. Оценка LS RV FW может значительно помочь в стратификации риска, являясь причиной переклассификации ряда пациентов в группу высокого риска с возможной модификацией тактики хирургического лечения.

Ключевые слова: спекл-трекинг эхокардиография, правый желудочек, предиктор осложненного течения, правожелудочковая дисфункция, продольная деформация, кардиохирургия пороков левых камер сердца.

Отношения и деятельность: нет.

[1]ФГБУ Национальный медицинский исследовательский центр сердечно-сосудистой хирургии им. А.Н. Бакулева Минздрава России, Москва; [2]Казанская государственная медицинская академия — филиал ФГБОУ ДПО Российская медицинская академия непрерывного профессионального образования Минздрава России, Казань, Россия.

Голухова Е.З. — академик РАН, д.м.н., профессор, директор, ORCID: 0000-0002-6252-0322, Сливнева И.В.* — к.м.н., н.с. группы экстренной ультразвуковой и функциональной диагностики, ORCID: 0000-0001-7935-7093, Скопин И.И. — член-корр. РАН, д.м.н., директор Института коронарной и сосудистой хирургии, ORCID: 0000-0001-7411-202X, Фарулова И.Ю. — к.м.н., старший сотрудник отделения реконструктивной хирургии клапанов сердца и коронарных артерий, ORCID: 0000-0003-4060-5760, Пирушкина Ю.Д. — врач-ординатор кафедры кардиологии, функциональной и ультразвуковой диагностики с курсом детской кардиологии, ORCID: 0000-0002-8062-5187, Мурысова Д.В. — врач-кардиолог, сотрудник отделения реконструктивной хирургии клапанов сердца и коронарных артерий, ORCID: 0000-0003-2885-6225, Марапов Д.И. — к.м.н., доцент кафедры общественного здоровья, экономики и управления здравоохранением, ORCID: 0000-0003-2583-0599, Волковская И.В. — к.м.н., зав. научно-консультативным отделом института коронарной и сосудистой хирургии, ORCID: 0000-0001-9533-5556.

*Автор, ответственный за переписку (Corresponding author):
slivneva@mail.ru

ДИ — доверительный интервал, ИВЛ — искусственная вентиляция легких, ЛГ — легочная гипертензия, ЛЖ — левый желудочек, НПВ — нижняя полая вена, ОШ — отношение шансов, ПЖ — правый желудочек, ПП — правое предсердие, СДЛА — систолическое давление в легочной артерии, СН — сердечная недостаточность, ТР — трикуспидальная регургитация, ФВ — фракция выброса, ЭхоКГ — эхокардиография, AUC — площадь под кривой, FAC — фракционное изменение площади, GLS — глобальная продольная деформация, LS RV FW — продольная деформация свободной стенки правого желудочка, PPV — рост положительной прогностической ценности, STE — спекл-трекинг эхокардиография, TAPSE — систолическая экскурсия плоскости трикуспидального кольца.

Рукопись получена 25.10.2022
Рецензия получена 08.12.2022
Принята к публикации 23.01.2023

CC BY 4.0

Для цитирования: Голухова Е.З., Сливнева И.В., Скопин И.И., Фарулова И.Ю., Пирушкина Ю.Д., Мурысова Д.В., Марапов Д.И., Волковская И.В. Правожелудочковая дисфункция в качестве предиктора осложненного течения в кардиохирургии левых пороков сердца. *Российский кардиологический журнал.* 2023;28(6):5264. doi:10.15829/1560-4071-2023-5264. EDN GTUPKR

Right ventricular dysfunction as a predictor of complicated course in left heart surgery

Golukhova E.Z.[1], Slivneva I.V.[1], Skopin I.I.[1], Farulova I.Yu.[1], Pirushkina Yu.D.[1], Murysova D.V.[1], Marapov D.I.[2], Volkovskaya I.V.[1]

Aim. To analyze the right ventricular (RV) functionality in a cohort of heterogeneous cardiac surgical patients with left-sided valvular heart disease and determine the contribution of RV dysfunction in the complicated postoperative period according to echocardiography.

Material and methods. A single-center prospective study of patients with left heart defects operated on in 2022 was conducted. Age ranged was 20-81 years, with a median age of 58 years. The study was conducted on a PHILIPS EPIQ CVx system using an X5-1 probe.

Results. To estimate the risk of a complicated postoperative period depending on various indicators of RV systolic function assessment, ROC-analysis was performed. The ROC curve of the RV free wall longitudinal strain (RV FW LS) was characterized by the highest AUC value among other RV functional measures, equal to 0,81±0,06 (95% confidence interval (CI): 0,68-0,93), p<0,001. A value of 20% was selected as the cut-off point of RV FW LS for predicting a complicated postoperative period. The RV FW LS <20% was 19,2 times more likely to develop a complicated course (95% CI: 5,64 to 65,50), compared with the RV FW LS group ≥20%; p<0,05. The odds of heart failure (HF) in the RV FW LS <20% group were 22,78 times higher (95% CI: 5,90 to 88,04), compared with the RV FW LS ≥20% group; p<0,05.

Conclusion. The RV FW LS <20% can be considered an independent predictor of complicated postoperative period with a multiple increase in the risk of complications, mainly the risk of heart failure. The assessment of RV FW LS can significantly help in risk stratification, being the reason for the reclassification of

a number of patients in the high-risk group with a possible modification of surgical strategy.

Keywords: speckle-tracking echocardiography, right ventricle, predictor of complicated course, right ventricular dysfunction, longitudinal strain, left heart cardiac surgery.

Relationships and Activities: none.

[1]A. N. Bakulev National Medical Research Center for Cardiovascular Surgery, Moscow; [2]Kazan State Medical Academy — branch of the Russian Medical Academy of Continuous Professional Education, Kazan, Russia.

Golukhova E. Z. ORCID: 0000-0002-6252-0322, Slivneva I. V.* ORCID: 0000-0001-7935-7093, Skopin I. I. ORCID: 0000-0001-7411-202X, Farulova I. Y. ORCID: 0000-0003-4060-5760, Pirushkina Yu. D. ORCID: 0000-0002-8062-5187, Murysova D. V. ORCID: 0000-0003-2885-6225, Marapov D. I. ORCID: 0000-0003-2583-0599, Volkovskaya I. V. ORCID: 0000-0001-9533-5556.

*Corresponding author:
slivneva@mail.ru

Received: 25.10.2022 **Revision Received:** 08.12.2022 **Accepted:** 23.01.2023

For citation: Golukhova E. Z., Slivneva I. V., Skopin I. I., Farulova I. Y., Pirushkina Yu. D., Murysova D. V., Marapov D. I., Volkovskaya I. V. Right ventricular dysfunction as a predictor of complicated course in left heart surgery. *Russian Journal of Cardiology*. 2023;28(6):5264. doi:10.15829/1560-4071-2023-5264. EDN GTUPKR

Ключевые моменты

- Проанализированы функциональные возможности правого желудочка (ПЖ) в кардиохирургии пороков левых камер сердца с определением вклада признаков его дисфункции в осложненный послеоперационный период по данным трансторакальной эхокардиографии.
- Метод спекл-трекинг эхокардиографии (STE) является наиболее чувствительным методом визуализации, позволяющим анализировать функциональные возможности ПЖ.
- Показатель продольной деформации свободной стенки ПЖ может применяться в качестве неинвазивного прогностического маркера осложненного послеоперационного периода.

Key messages

- The functionality of the RV in cardiac surgery for left heart defects was analyzed with the determination of the contribution of ITS dysfunction in the complicated postoperative period according to transthoracic echocardiography.
- Speckle-tracking echocardiography (STE) is the most sensitive imaging method for analyzing right ventricular functionality.
- RV free wall longitudinal strain can be used as a non-invasive prognostic marker of a complicated postoperative period.

Визуализация правого желудочка (ПЖ) и верификация признаков систолической дисфункции претерпела значительные изменения за последние десятилетия. Новый метод визуализации в реальном времени — двухмерный анализ деформации миокарда с помощью спекл-трекинг эхокардиографии (STE) показал свою прогностическую валидность в оценке дисфункции ПЖ при различных патологических состояниях [1-7]. На сегодняшний день общее прогностическое влияние дисфункции ПЖ на смертность и послеоперационные осложнения в большой кардиохирургической популяции остается неопределенным. Хорошо известно, что проявлением дисфункции миокарда при клапанных пороках сердца является дисфункция левого желудочка (ЛЖ) [8]. Наша гипотеза заключается в том, что более ранним предиктором осложненного периода, усугубляющим фактором для хирургического вмешательства и, соответственно, прогностическим фактором неблагоприятных исходов может являться дисфункция ПЖ [9-11].

Целью данного исследования является анализ функциональных возможностей ПЖ в когорте гетерогенных кардиохирургических пациентов с вальвулопатией левых камер сердца и определение вклада признаков ПЖ дисфункции в осложненный послеоперационный период по данным стандартной и пространственной эхокардиографии (ЭхоКГ).

Материал и методы

Дизайн исследования. Проспективное одноцентровое когортное исследование было проверено и одобрено локальным этическим комитетом (протокол № 3, датирован от 7 июля 2022г). У всех пациентов было получено информированное согласие на участие в исследовании.

Критерии включения: клапанный порок сердца (органическое поражение аортального и/или митрального клапана), возраст пациента старше 18 лет.

Критериями невключения в исследование были наличие ишемической болезни сердца (стенозирование коронарных артерий ⩾65%, перенесенные реваскуляризация и/или стентирование коронарных артерий), перенесенные операции на сердце, врожденные пороки сердца, опухоли сердца.

Рис. 1. Протокол исследования.
Сокращение: КА — коронарные артерии.

Критериями исключения являлись: неадекватная визуализация, активный инфекционный эндокардит, органические изменения клапанов правых камер сердца (трикуспидального, клапана легочной артерии), признаки стеноза выводного тракта ПЖ или клапана легочной артерии.

У всех пациентов на дооперационном этапе оценивалась функция ПЖ с применением традиционных (FAC RV, TAPSE) и современных параметров ЭхоКГ-оценки (LS RV FW (2D STE), глобальной продольной деформации (GLS) RV (2D STE), фракции выброса (ФВ) ПЖ (3D)).

Первичные конечные точки исследования представляли собой наличие жизнеугрожающих осложнений в течение 30 дней после операции или неблагоприятного исхода. К ним относились летальность от всех причин, пролонгированная искусственная вентиляция легких (ИВЛ) (>48 ч), явления сердечной недостаточности (СН), явления дыхательной недостаточности, синдром полиорганной недостаточности. В том числе анализировалась комбинированная первичная точка, объединяющая указанные состояния.

В качестве **вторичных конечных точек** рассматривались нарушения ритма сердца, длительное пребывание в стационаре после операции (>14 сут.), длительность кардиотонической поддержки >5 сут., потребность в консервативной терапии СН (GDMT — guideline-directed medical therapy) [12]. Применялись препараты с доказанной эффективностью (уровень доказательности А): ингибиторы ангиотензинпревращающего фермента, диуретики, антагонисты альдостерона, сердечные гликозиды, антагонисты рецепторовангиотензинаII,селективныеβ-адреноблокаторы.

Профиль исследуемых. Предварительное планирование исследования содержало 166 пациентов. Протокол исследования представлен на рисунке 1. Первичное включение в базу данных — 127 пациентов. Качество визуализации, не соответствующее адекватному анализу деформации миокарда желудочков, отмечалось у 3 (2,4%) пациентов, инфекционный эндокардит в активной фазе был выявлен у 4 (3,2%) пациентов. Таким образом, в окончательный анализ включены 120 (94,5% от количества взятых для первичного анализа) пациентов с вальвулопатией левых камер сердца, находившиеся на стационарном лечении в ФГБУ "НМИЦ ССХ им. А. Н. Бакулева" Минздрава России за период 2021-2022гг.

Возраст пациентов варьировал от 20 до 81 года, медиана возраста составляла 58 лет (Q_1-Q_3: 47-65 лет). Приобретенные пороки сердца были представлены митральным стенозом (9,2%), аортальным стенозом (36,1%), митральной недостаточностью (35,2%) или аортальной недостаточностью (15,3%). Двухклапанное поражение было выявлено в 4,2% случаев (табл. 1).

ЭхоКГ анализ. ЭхоКГ исследование проводилось на ультразвуковой системе PHILIPS EPIQ CVx с ис-

Таблица 1

Характеристика кардиохирургических пациентов, включенных в исследование

Показатели		Всего (n=120)	min	max
Возраст, Me (полных лет)		58 [47-65]	20	81
Пол:	— мужской, абс. (%)	51 (42,5)		
	— женский, абс. (%)	69 (57,5)		
ЧСС, Me (уд./мин)		71 [65-80]	40	133
АД систолическое, Me (мм рт.ст.)		125	85	180
АД диастолическое, Me (мм рт.ст.)		70	40	120
Ритм при госпитализации:	— синусовый, абс. (%)	98 (81,7)		
	— ФП, абс. (%)	22 (18,3)		
ППТ, Me ($м^2$)		1,90 [1,79-2,05]	1,34	2,51
ИМТ, Me ($кг/м^2$)		26,1 [24,1-29,1]	16,9	45,3
Ведущая патология				
Аортальный стеноз		44 (36,7)		
Аортальная недостаточность		18 (15,0)		
Митральный стеноз		11 (9,2)		
Митральная недостаточность		42 (35,0)		
Двухклапанное поражение		5 (4,2)		
Сопутствующая патология				
ХОБЛ, абс. (%)		16 (13,3)		
Бронхиальная астма, абс. (%)		2 (1,7)		
Сахарный диабет, абс. (%)		7 (5,8)		
Хроническая болезнь почек, абс. (%)		4 (3,3)		
Перенесенный ОНМК, абс. (%)		1 (0,8)		
Перенесенный COVID-19, абс. (%)		76 (63,3)		
Артериальная гипертензия	I степени	3 (2,5)		
	II степени	18 (15,0)		
	III степени	49 (40,8)		
НК 1 степени, абс. (%)		6 (5)		
НК 2а степени, абс. (%)		108 (90,0)		
НК 2б степени, абс. (%)		6 (5,0)		
ФК по NYHA II, абс. (%)		31 (25,8)		
ФК по NYHA III, абс. (%)		85 (70,8)		
ФК по NYHA IV, абс. (%)		4 (3,3)		
EuroScore II, Me (%)		2 [1-2]	1	16,4

Сокращения: АД — артериальное давление, ИМТ — индекс массы тела, НК — недостаточность кровообращения, ОНМК — острое нарушение мозгового кровообращения, ППТ — площадь поверхности тела, ФК — функциональный класс, ФП — фибрилляция предсердий, ХОБЛ — хроническая обструктивная болезнь легких, ЧСС — частота сердечных сокращений, COVID-19 — новая коронавирусная инфекция, NYHA — Нью-Йоркская ассоциация сердца.

пользованием датчика X5-1. Количественные измерения получали в соответствии с современными рекомендациями Американского общества эхокардиографии и Европейской ассоциации сердечно-сосудистой визуализации (ASE и EACVI, 2015) [13]. ЭхоКГ анализ выполнялся двумя специалистами по кардиоторакальной визуализации.

Анализ объемных и функциональных показателей ЛЖ осуществлялся с помощью бипланового алгоритма Simpson. Количественный анализ деформаций миокарда ЛЖ (STE) выполнялся с помощью программного приложение QApp AutoStrain. Функция автоматического определения стрейна позволяет измерять общую продольную деформацию ЛЖ (GLS LV). Набор данных осуществлялся из апикальной четырехкамерной проекции (A4C), апикальной двухкамерной проекции (A2C) и апикальной проекции по продольной оси ЛЖ (A3C) с частотой кадров >60 кадров/сек. Определяются границы эндокарда ЛЖ и выполняется корректировка толщины стенки.

Диастолическую функцию ЛЖ оценивали с помощью измерения пиковой скорости E, которая оценивалась с помощью импульсно-волновой допплерографии, расчета E/A, E/e'. Для оценки усредненной ранней диастолической скорости движения кольца митрального клапана (e') в септальной и латеральной частях клапана применялась тканевая допплеровская визуализация (табл. 2).

Анализ сократительной функции ПЖ. Количественную оценку систолической функции ПЖ из стандартных методов ЭхоКГ определяли по следующим показателям: фракционное изменение площади (FAC — Fractional Area Change); систолическая экскурсия плоскости трикуспидального кольца (TAPSE — Tricuspid Annular Plane Systolic Excursion). Фракционное изменение площади ПЖ (FAC RV) рассчитывалось из A4C позиции по формуле: (диастолическая площадь ПЖ — систолическая площадь ПЖ / диастолическая площадь ПЖ) × 100% (в норме значение FAC RV составляет 35% или выше). TAPSE рассчитывалось как амплитуда движения латеральной части трикуспидального кольца в систолу в М-модальном режиме. TAPSE <17 мм говорит в пользу систолической дисфункции ПЖ [13].

Количественный анализ деформаций миокарда (STE) выполнялся с помощью программного приложение QApp AutoStrain. Функция автоматического определения стрейна позволяет измерять как деформацию свободной стенки (LS RV FW), так и общую продольную деформацию ПЖ (GLS RV). Набор данных осуществлялся из 4-камерной апикальной позиции с частотой кадров >60 кадров/сек, определяли границы эндокарда свободной стенки ПЖ и выполняли корректировку толщины стенки. Значения стрейна выражались как абсолютные величины.

Набор 3D-данных (3D Auto RV) осуществляется из A4C позиции. Поверхность эндокарда ПЖ идентифицируется полуавтоматически после ручной инициализации по короткой оси, A4C и коронарной проекции в конце систолы и диастолы. Полученная 3D-модель поверхности ПЖ позволяет проводить количественную оценку объемных и функциональных характеристик ПЖ. В норме ФВ ПЖ составляет >45% [13].

С помощью непрерывно-волновой допплерографии и режима цветового допплеровского картирования оценивали степень трикуспидальной регургитации (ТР) из A4C позиции. Поток ТР ранжировали как незначительный, умеренно-выраженный и тяжелый.

Систолическое давление в легочной артерии (СДЛА) рассчитывалось путем прибавления к пиковой скорости ТР значения давления в правом предсердии (ПП). Для этого измеряли диаметр нижней полой вены (НПВ) и оценивали инспираторное спадение НПВ. Если диаметр НПВ был <21 мм и ее коллабирование ⩾50%, то давление в ПП составляло 3 мм рт.ст.; при расхождении показателей применялись дополнительные параметры. Если E/e' трикуспидального клапана >6, скорость кровотока в печеночной вене D > S, то прибавлялось 8 мм рт.ст. Если диаметр НПВ был ⩾21 мм и коллабирование <50%, то предполагаемое давление в ПП составляло 15 мм рт.ст. [14, 15].

Таблица 2

ЭхоКГ данные, полученные на дооперационном этапе

Показатели	Me	Q_1-Q_3	min	max
Объем ЛП (биплановый), мл	69,3	50,4-95,2	16,8	354,5
КДО (биплановый Simpson), мл	135	103-178	44	411
КСО (биплановый Simpson), мл	48	36-68	14	298
ФВ ЛЖ, %	65	57-68	18	73
GLS LV (2D STE), Me %	18,0	14-21	5	36
E/A	0,8	0,6-1,2	0,3	2,0
E/e'	9,0	6,4-12,5	4,6	43,1
Объем ПП (фокусированный), мл	42,3	35,6-65,5	11,3	143,0
Базальный КДР, мм	37	34-43	25	54
Средний КДР, мм	30	26-34	15	45
Продольный диаметр ПЖ, мм	64	58-72	36	89
FAC RV (2D), %	46	37-54	10	70
TAPSE (М-режим), мм	21	19-24	9	33
КДО ПЖ (3D), мл	131	98-162	45	226
КСО ПЖ (3D), мл	67	49-62	24	71
ФВ ПЖ (3D), %	50	45-54	25	66
LS RV FW (2D STE), %	25	19-31	4	44
V TP max, см/с	275	251-311	179	425
СДЛА, мм рт.ст.	38	34-46	28	78

Сокращения: ЛЖ (LV) — левый желудочек, ЛП — левое предсердие, КДО — конечный диастолический объем, КДР — конечный диастолический размер, КСО — конечный систолический объем, ПЖ (RV) — правый желудочек, ПП — правое предсердие, СДЛА — систолическое давление в легочной артерии, ФВ — фракция выброса, GLS — глобальный продольный стрейн, FAC — фракционное изменение площади, TAPSE — систолическая экскурсия плоскости трикуспидального кольца, LS RV FW — продольный стрейн свободной стенки правого желудочка, V TP max — максимальная скорость трикуспидальной регургитации.

Статистический анализ. Статистическая обработка данных выполнялась в программах IBM SPSS Statistics v. 26 (разработчик — "IBM Corporation", США) и StatTech v. 2.8.4 (разработчик — ООО "Статтех", Россия).

Количественные показатели оценивались на предмет соответствия нормальному распределению с помощью критерия Колмогорова-Смирнова.

В связи с несоответствием количественных данных нормальному распределению, показатели описывались с помощью медианы (Me) и нижнего и верхнего квартилей (Q_1-Q_3). Категориальные данные описывались с указанием абсолютных значений и процентных долей.

Сравнение двух групп по количественному показателю, распределение которого отличалось от нормального, выполнялось с помощью U-критерия Манна-Уитни.

Сравнение процентных долей при анализе таблиц сопряженности выполнялось с помощью критерия хи-квадрат Пирсона (при значениях ожидаемого явления >10), точного критерия Фишера (при значениях ожидаемого явления <10).

Таблица 3

Анализ различных показателей в зависимости от течения послеоперационного периода

Показатель	Неосложненное течение (n=101)	Осложненное течение (n=19)	p-value
ХОБЛ, абс. (%)	15 (14,9)	1 (5,3)	0,318
Бронхиальная астма, абс. (%)	2 (2,0)	0 (0,0)	1,000
Сахарный диабет, абс. (%)	6 (5,9)	1 (5,3)	1,000
НК 1 степени, абс. (%)	5 (5,0)	1 (5,3)	0,789
НК 2а степени, абс. (%)	94 (93,1)	14 (73,7)	0,123
НК 2б степени, абс. (%)	3 (3,0)	3 (15,8)	0,045*
ФК по NYHA II, абс. (%)	28 (27,7)	1 (5,3)	0,047*
ФК по NYHA III, абс. (%)	70 (69,3)	13 (68,4)	0,627
ФК по NYHA IV, абс. (%)	1 (1,0)	3 (15,8)	0,020*
EuroScore II (%), Me (Q_1-Q_3)	1 (1-2)	3 (2-5)	<0,001*
Протезирование АК, абс. (%)	42 (41,6)	10 (52,6)	0,207
Операция Бенталла-де-Боно, абс. (%)	11 (10,9)	1 (5,3)	0,421
Операция Озаки, абс. (%)	2 (2,0)	0 (0,0)	1,000
Пластика МК, абс. (%)	29 (28,7)	4 (21,1)	0,549
Протезирование МК, абс. (%)	18 (17,8)	8 (42,1)	0,021*
Аннулопластика ТК по Де Вега, абс. (%)	88 (87,1)	17 (89,5)	0,375
Время ИК (мин), Me (Q_1-Q_3)	142 (121-166)	150 (131-201)	0,315
Время пережатия аорты (мин), Me (Q_1-Q_3)	92 (78-115)	92 (80-123)	0,727
Летальность от всех причин, абс. (%)	0 (0,0)	1 (5,3)	0,158
Пролонгированная ИВЛ (>48 ч), абс. (%)	1 (1,0)	7 (36,8)	<0,001*
СН, абс. (%)	2 (2,0)	15 (78,9)	<0,001*
Дыхательная недостаточность, абс. (%)	0 (0,0)	7 (36,8)	<0,001*
Синдром полиорганной недостаточности, абс. (%)	0 (0,0)	1 (5,3)	0,158
Нарушения ритма сердца, абс. (%)	15 (14,9)	7 (36,8)	0,023*
Длительность пребывания в стационаре (сут.), Me (Q_1-Q_3)	11 (8-13)	14 (10-17)	0,008*
Пребывание в стационаре (>14 сут.), абс. (%)	46 (45,5)	14 (73,7)	0,043*
Длительная КТП (>5 сут.), абс. (%)	1 (1,0)	14 (73,7)	<0,001*
Лекарственная терапия СН, абс. (%)	2 (2,0)	12 (63,2)	<0,001*

Примечание: * — различия показателей статистически значимы (p<0,05).

Сокращения: АК — аортальный клапан, ИВЛ — искусственная вентиляция легких, ИК — искусственное кровообращение, КТП — кардиотоническая поддержка, МК — митральный клапан, НК — недостаточность кровообращения, СН — сердечная недостаточность, ТК — трикуспидальный клапан, ФК — функциональный класс, ХОБЛ — хроническая обструктивная болезнь легких, NYHA — Нью-Йоркская ассоциация сердца.

Для оценки диагностической значимости количественных признаков при прогнозировании определенного исхода применялся метод анализа ROC-кривых. Разделяющее значение количественного признака в точке cut-off определялось по наивысшему значению индекса Юдена.

Результаты

Пациентам выполнялся большой спектр кардиохирургических вмешательств, без достоверных различий по длительности искусственного кровообращения, продолжительности пережатия аорты в исследуемых группах (табл. 3). Примечательно, что протезирование митрального клапана среди осложненных пациентов встречалось статистически значимо чаще 42,1% vs 17,8%, p=0,021. Остальные виды хирургических вмешательств не показали статических различий. Сравнительный анализ клинических данных при осложненном и неосложненном течении показал отсутствие статистически значимых различий по сопутствующей патологии (p>0,05).

Сердечная, дыхательная недостаточность, пролонгированная ИВЛ, нарушения ритма сердца, длительность пребывания в стационаре (>14 сут.), длительная инотропная поддержка и потребность в GDMT отмечались достоверно чаще в группе пациентов с осложненным послеоперационным периодом. Структура послеоперационных осложнений представлена в таблице 3.

Сравнительный межгрупповой анализ ЭхоКГ данных показал статистически значимую разницу (p<0,05) по показателям сократительной функции ЛЖ. ФВ ЛЖ

Таблица 4

Анализ ЭхоКГ показателей в зависимости от течения послеоперационного периода

Показатели	Неосложненное течение	Осложненное течение	p-value
	Me (Q_1-Q_3)	Me (Q_1-Q_3)	
Объем ЛП (биплановый), мл	63,9 (46,9-89,2)	93,2 (72,2-119,1)	0,001*
КДО (биплановый Simpson), мл	133 (101-172)	178 (119-203)	0,144
КСО (биплановый Simpson), мл	46 (35-62)	68 (38-100)	0,075
ФВ ЛЖ, %	65 (58-68)	59 (45-67)	0,030*
GLS LV (2D STE), %	18 (15-21)	13 (8-19)	0,005*
E/A	0,8 (0,7-1,2)	0,7 (0,54-0,79)	0,102
E/e'	9,0 (6,7-12,3)	11,1 (9,1-19,1)	0,023*
Объем ПП, мл	40,0 (34,8-55,2)	88,6 (41,8-106,0)	0,001*
Базальный КДР, мм	37 (34-42)	44 (38-48)	0,005*
Средний КДР, мм	29 (26-34)	32 (30-37)	0,026*
Продольный диаметр ПЖ, мм	64 (58-72)	67 (58-73)	0,425
FAC RV (2D), %	46,7 (39,0-54,7)	32,7 (23,0-51,4)	0,020*
TAPSE (M-режим), мм	22 (19-25)	16 (14-21)	0,002*
КДО ПЖ (3D), мл	130 (95-154)	150 (125-189)	0,131
КСО ПЖ (3D), мл	85 (73-127)	66 (47-79)	0,003*
ФВ ПЖ (3D), %	51 (47-54)	39 (33-46)	<0,001*
LS RV FW (2D STE), %	26 (22-32)	15 (11-19)	<0,001*
V TP max, см/с	267 (250-300)	308 (278-348)	0,004*
СДЛА, мм рт.ст.	36 (33-44)	46 (41-59)	<0,001*
ТР умеренной степени, абс. (%)	34 (33,7)	8 (42,1)	0,479
ТР тяжелой степени, абс. (%)	14 (13,9)	9 (47,4)	<0,001*

Примечание: * — различия показателей статистически значимы (p<0,05).

Сокращения: КДО — конечный диастолический объем, КДР — конечный диастолический размер, КСО — конечный систолический объем, ЛЖ (LV) — левый желудочек, ЛП — левое предсердие, ПЖ (RV) — правый желудочек, ПП — правое предсердие, СДЛА — систолическое давление в легочной артерии, ФВ — фракция выброса, GLS — глобальный продольный стрейн, FAC — фракционное изменение площади, TAPSE — систолическая экскурсия плоскости трикуспидального кольца, LS RV FW — продольный стрейн свободной стенки правого желудочка, V TP max — максимальная скорость трикуспидальной регургитации.

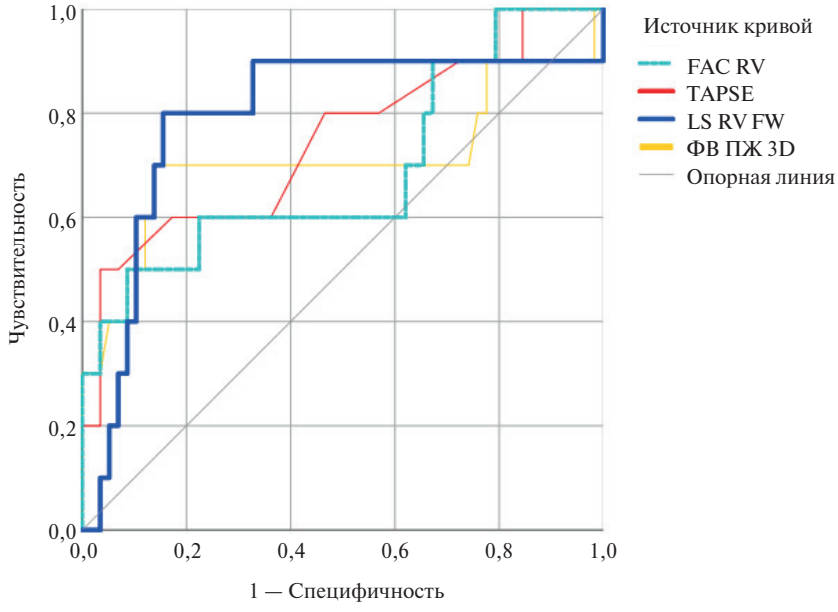

Рис. 2. ROC-кривые, характеризующие предсказательную значимость параметров оценки функции ПЖ при прогнозировании осложненного послеоперационного течения.

Примечание: цветное изображение доступно в электронной версии журнала.

Сокращения: ПЖ (RV) — правый желудочек, ФВ — фракция выброса, FAC — фракционное изменение площади, TAPSE — систолическая экскурсия плоскости трикуспидального кольца, LS RV FW — продольный стрейн свободной стенки правого желудочка.

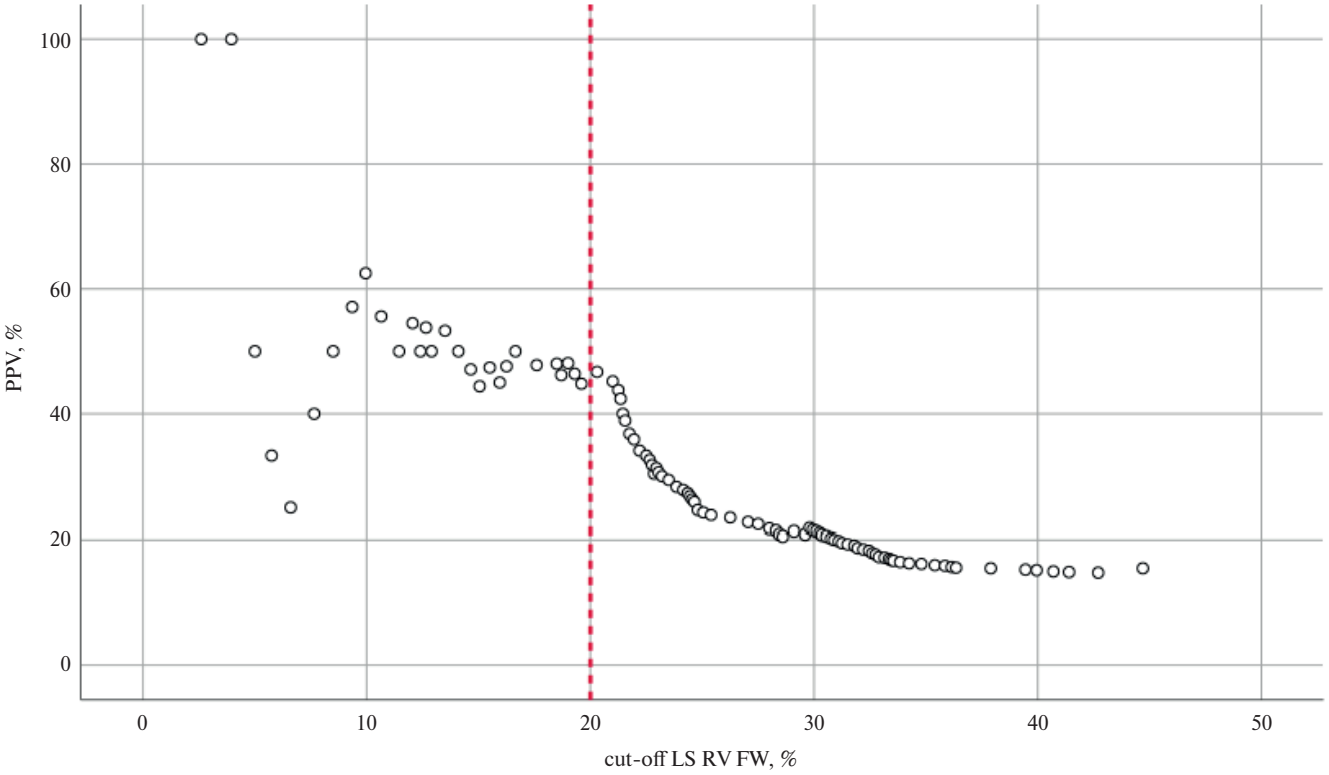

Рис. 3. Зависимость PPV для модели прогнозирования осложненного послеоперационного периода от пороговых значений LS RV FW.
Сокращения: LS RV FW — продольный стрейн свободной стенки правого желудочка, PPV — рост положительной прогностической ценности.

Таблица 5

Площадь под ROC-кривой (AUC) различных параметров функции ПЖ

Проверяемые переменные	AUC (95% ДИ)
LS RV FW	0,81±0,06 (0,68-0,93)
TAPSE	0,75±0,1 (0,56-0,93)
ФВ ПЖ (3D)	0,71±0,12 (0,48-0,94)
FAC RV	0,69±0,1 (0,49-0,90)

Сокращения: ДИ — доверительный интервал, ФВ ПЖ — фракция выброса правого желудочка, FAC RV — фракционное изменение площади правого желудочка, LS RV FW — продольный стрейн свободной стенки правого желудочка, TAPSE — систолическая экскурсия плоскости трикуспидального кольца.

в группе неосложненного течения составила 65% (Q_1-Q_3: 58-68%) vs 59% (Q_1-Q_3: 45-67%) в группе осложненного послеоперационного периода, GLS LV 18% (Q_1-Q_3: 15-21%) vs 13% (Q_1-Q_3: 8-19%), соответственно (табл. 3). Объемные характеристики предсердий, линейные размеры ПЖ (базальный и средний) преобладали в группе осложненного течения и продемонстрировали статически значимые межгрупповые различия ($p<0,05$). СДЛА в группе неосложненного послеоперационного течения составило 36 мм рт.ст. (Q_1-Q_3: 33-44 мм рт.ст.), при осложненном течении — 46 мм рт.ст. (Q_1-Q_3: 41-59 мм рт.ст.). ТР умеренной степени была диагностирована у 42 (35,0%) пациентов, тяжелой степени — у 23 (19,2%) пациентов. Среди осложненных пациентов тяжелая степень ТР статистически значимо наблюдалась чаще ($p<0,001$).

Был выполнен сравнительный анализ показателей оценки систолической функции ПЖ в зависимости от течения послеоперационного периода. Исходя из полученных данных, по всем показателям сократительной функции ПЖ были выявлены статистически значимые различия ($p<0,05$) (табл. 4).

Для оценки вероятности осложненного послеоперационного периода в зависимости от различных показателей оценки систолической функции ПЖ был проведен ROC-анализ. В результате были получены следующие ROC-кривые (рис. 2, табл. 5).

Полученная ROC-кривая показателя LS RV FW характеризовалась наивысшим значением AUC среди других функциональных показателей ПЖ, равным 0,81±0,06 (95% доверительный интервал (ДИ): 0,68-0,93), модель была статистически значимой ($p<0,001$). В качестве точки cut-off для прогнозирования осложненного послеоперационного периода в зависимости от значений LS RV FW было выбрано значение 20%.

Исходя из результатов ROC-анализа была построена диаграмма соответствия различных пороговых

Таблица 6

Осложнения в течение 30-ти дневного периода после операции в зависимости от показателя LS RV FW

Показатель, абс. (%)	Общая когорта, n=120	LS RV FW ⩾20%, n=89	LS RV FW <20%, n=31	p-value
Неосложненный п/о период	101 (84,2)	85 (95,5)	16 (51,6)	<0,001*
Осложненный п/о период	19 (15,8)	4 (4,5)	15 (48,4)	
Летальность от всех причин	1 (0,8)	0 (0,0)	1 (3,2)	0,265
Пролонгированная ИВЛ (>48 ч)	8 (6,7)	3 (3,4)	5 (16,1)	0,030*
СН	17 (14,2)	3 (3,4)	14 (45,2)	<0,001*
Дыхательная недостаточность	7 (5,8)	3 (3,4)	4 (12,9)	0,079
Синдром полиорганной недостаточности	1 (0,8)	0 (0,0)	1 (3,2)	0,265
Нарушения ритма сердца	22 (18,3)	16 (18,0)	6 (19,4)	0,927
Пребывание в стационаре (>14 сут.)	10 (8,3)	4 (4,5)	6 (19,4)	0,021*
Длительная КТП (>5 сут.)	15 (12,5)	3 (3,4)	12 (38,7)	<0,001*
Лекарственная терапия СН	14 (11,7)	3 (3,4)	11 (35,5)	<0,001*

Примечание: * — различия показателей статистически значимы (p<0,05).

Сокращения: ИВЛ — искусственная вентиляция легких, КТП — кардиотоническая поддержка, СН — сердечная недостаточность, LS RV FW — продольный стрейн свободной стенки правого желудочка.

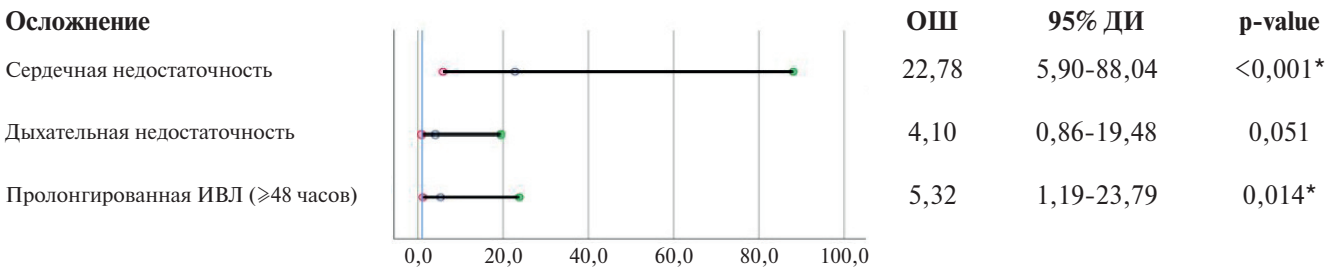

Рис. 4. ОШ с 95% ДИ для изучаемых осложнений при показателе LS RV FW <20%.

Примечание: * — различия показателей статистически значимы (p<0,05).

Сокращения: ДИ — доверительный интервал, ИВЛ — искусственная вентиляция легких, ОШ — отношение шансов.

значений LS RV FW вероятности осложненного послеоперационного периода, прогнозируемого при LS RV FW ниже точки cut-off, представленная на рисунке 3. В соответствии с полученной диаграммой, отмечался постепенный рост положительной прогностической ценности (PPV) при снижении значения LS RV FW, выбранного в качестве точки cut-off. Было отмечено, что в случае пороговых значений LS RV FW <20% значения PPV достигали оптимального уровня для применения данного диагностического критерия в клинической практике. Параметры предсказательной ценности для данной точки были следующие: чувствительность составила 78,9%, специфичность — 83,7%, PPV — 48,4%, NPV (негативная прогностическая ценность) — 95,3%.

При вычислении отношения шансов (ОШ) вероятности осложненного послеоперационного периода в зависимости от выбранной точки cut-off было выявлено, что при LS RV FW <20% вероятность осложненного послеоперационного течения была выше в 19,2 раза, по сравнению с группой показателя LS RV FW ⩾20%, различия шансов были статистически значимыми (95% ДИ: 5,64-65,50).

Далее были проанализированы основные события в зависимости от порогового значения LS RV FW, представленные в таблице 6.

При вычислении риска осложнений в 30-дневном послеоперационном периоде в зависимости от LS RV FW <20%, статистически значимыми факторами риска являлись СН и пролонгированная ИВЛ. На рисунке 4 сопоставлены значения ОШ для изучаемых осложнений.

Шансы наличия СН в группе показателя LS RV FW <20% были выше в 22,78 раза (95% ДИ: 5,90-88,04), по сравнению с группой показателя LS RV FW ⩾20%, различия были статистически значимыми. Дыхательная недостаточность статистически значимых различий в ОШ не продемонстрировала. Шансы пролонгированного ИВЛ (⩾48 ч) в группе показателя LS RV FW <20% были выше в 5,32 раза (95% ДИ: 1,19-23,79) по сравнению с группой LS RV FW ⩾20%, p=0,014.

Обсуждение

Вальвулопатии левых отделов сердца приводят к увеличению объема и давления в левом предсердии, вызывая ретроградное повышение посткапиллярного давления в легочной артерии (посткапиллярный гемодинамический профиль), что со временем вызывает ремоделирование легочных сосудов и повышенное легочное сосудистое сопротивление. Это увеличивает постнагрузку на ПЖ и впоследствии приводит к дисфункции ПЖ. Со временем растяжимость легочных сосудов снижается, увеличивается постнагрузка и конечно-диастолическое давление в ПЖ. Это ведет к ремоделированию ПЖ, к снижению его сократимости [11, 16]. Дилатация ПЖ и увеличение напряжения стенок приводят к повышенному потреблению кислорода миокардом, что при одновременном снижении коронарной перфузии приводит к ишемии желудочка и прогрессирующей ПЖ недостаточности [17].

Дисфункция ПЖ является патофизиологическим феноменом аномального наполнения и/или сокращения ПЖ [18], в ряде случаев без проявлений СН. Соответственно, систолическая дисфункция может привести к развитию ПЖ недостаточности, однако эти термины нельзя считать эквивалентными [19].

Функция ПЖ является независимым прогностическим фактором для краткосрочных и долгосрочных исходов у кардиохирургических пациентов [11]. Дисфункция ПЖ была связана с 4,2-кратным (95% ДИ: 2,1-8,3; $p<0,01$) повышенным риском множественных послеоперационных неблагоприятных событий [20]. Кроме того, крупный ретроспективный анализ показал, что дисфункция ПЖ была независимо связана с двухлетней смертностью от всех причин в гетерогенной кардиохирургической когорте [21]. Несмотря на признание в последние десятилетия, роль функции ПЖ и его прогностическое влияние на сердечно-сосудистые заболевания остаются крайне недооцененными [11]. По данным Towheed A, et al. (2021) [20], предоперационная дисфункция ПЖ присутствует приблизительно у 20% пациентов, подвергающихся операции на клапанах левых камер сердца, и может быть идентифицирована с помощью комплексного ЭхоКГ-анализа.

Легочная гипертензия (ЛГ) была признана фактором риска развития дисфункции ПЖ с ее прогностическим значением [22]. Тем не менее признаки ПЖ-дисфункции у пациентов с вальвулопатией левых камер сердца не всегда отражаются степенью ЛГ и ТР [23]. Неинвазивная оценка степени ЛГ представляет собой ЭхоКГ эквивалент СДЛА и осуществляется посредством модифицированного уравнения Бернулли как производное из скорости ТР. При этом, выраженность ТР может значительно варьировать в зависимости от условий нагрузки, сократительной функции ПЖ, дыхательного цикла, принимаемой диуретической терапии, в связи с чем не всегда отражает функциональные способности ПЖ адекватно и находится под влиянием многочисленных факторов [24-26].

Несмотря на то, что функциональная ТР развивается на фоне ПЖ дисфункции, она может приводить к завышению показателей сократимости ПЖ за счет опорожнения в камеру с низким давлением — ПП [27]. Таким образом, ТР нецелесообразно считать приоритетной детерминантой снижения эффективной производительности ПЖ у пациентов с клапанной патологией левых отделов сердца [23, 28].

Современные возможности визуализации могут способствовать диагностике дезадаптивного ремоделирования ПЖ, недооценка которого, вероятно, приведет к увеличению рисков хирургического или интервенционного вмешательства, к рецидиву вторичной ТР после аннулопластики [29]. Оценка резервных функциональных возможностей ПЖ позволяет изучить вероятность его положительной трансформации после хирургического лечения клапанного порока. Более того, детекция дезадаптивного ремоделирования ПЖ или его прогрессирующей дисфункции может способствовать определению конечной стадии заболевания, при котором даже успешное вмешательство может оказаться неэффективным [29]. По данным Prihadi EA, et al. (2019), в измененных условиях нагрузки, связанных со значительной ТР, продольная деформация ПЖ, как параметр современной технологии визуализации — STE, оказывается наиболее чувствительным маркером систолической дисфункции ПЖ [27].

Несмотря на растущее число доказательств, подтверждающих независимую роль дисфункции ПЖ на негативные отдаленные результаты [21, 28, 30-32], оценка функции ПЖ до сих пор не является обязательным компонентом алгоритма предоперационной диагностики. Внедрение принципиально новых методов выявления дезадаптивного ремоделирования ПЖ, отражающих морфофункциональный характер изменений желудочка неинвазивным способом, может способствовать пересмотру тактики лечения — возможно, более раннему хирургическому лечению превалирующей патологии, а также превентивному подходу на вторично измененных клапанах.

Согласно нашим данным, систолическая дисфункция ПЖ может являться предиктором осложненного течения после кардиохирургических клапанных операций. Признаки функциональных изменений ПЖ перед планируемым кардиохирургическим вмешательством можно было отметить на основании различных параметров оценки систолической функции ПЖ. При этом наибольшую диагностическую ценность в этом аспекте продемонстрировал показатель пространственной ЭхоКГ — LS RV

FW (AUC-ROC =0,81±0,06, 95% ДИ: 0,68-0,93, p<0,001). Выбранное пороговое значение, равное 20%, характеризовалось следующими значениями чувствительности и специфичности: 78,9% и 83,7%, соответственно. Положительная и негативная прогностическая ценность составили 48,4% и 95,3%, соответственно. Таким образом, показатель LS RV FW <20% можно считать независимым предиктором развития осложненного послеоперационного периода с многократным возрастанием риска осложнений, преимущественно риска СН.

Таким образом, технология STE чувствительна в выявлении функциональных изменений миокарда на более раннем этапе. Предсказательная ценность продольной деформации свободной стенки ПЖ (LS RV FW) улучшает стратификацию риска пациентов, подвергающихся операции на клапанах сердца, и может иметь дополнительное значение в прогнозировании осложненного послеоперационного течения или неблагоприятного исхода.

Ограничения исследования. Во-первых, это размер выборки. Общая когорта пациентов состояла из гетерогенных кардиохирургических пациентов, в т.ч. с двухклапанным поражением. Во-вторых, исследование являлось одноцентровым.

Следующее ограничение касалось идентификации границ эндокарда как при деформационном анализе (AutoStrain), так и при использовании технологии 3D Auto RV. Известно, что неточная идентификация границ может приводить к выраженной неправильной оценке функции и характеристик ПЖ, особенно при его выраженной дилатации. С целью уменьшения влияния данного фактора, исследование выполнялось двумя опытными специалистами в области кардиовизуализации.

Одним из значимых критериев невключения пациентов в исследование являлось гемодинамически значимое поражение коронарного русла, которое само по себе оказывает влияние на сократительную способность ишемизированного миокарда ПЖ, а также может в перспективе влиять на результаты хирургического лечения. Пациенты с активным инфекционным эндокардитом были исключены из исследования из-за возможного влияния инфекционно-токсического компонента на миокард. Кроме того, целью нашей работы была оценка функции ПЖ именно у пациентов с хроническим поражением клапанного аппарата левых камер сердца. Соответственно, изменение дизайна исследования приведет к получению иных результатов.

Несмотря на эти ограничения, мы считаем, что комплексный ЭхоКГ анализ с использованием современных технологий позволяет получать дополнительную ценную информацию о функциональном состоянии сердца, что подтверждает необходимость в стандартизации новых параметров оценки у пациентов с заболеваниями сердечно-сосудистой системы.

Заключение

Согласно проведенному анализу, систолическая дисфункция ПЖ нередко сопутствует пороку аортального или митрального клапана, обладая прогностической ценностью в отношении осложненного послеоперационного течения.

В сравнении с традиционными способами оценки функции ПЖ, современный диагностический арсенал, представленный неинвазивной технологией — STE, является наиболее чувствительным методом визуализации, позволяющей анализировать функциональные возможности ПЖ. Оценка продольной деформации свободной стенки ПЖ может значительно помочь в стратификации риска, являясь, таким образом, причиной переклассификации ряда пациентов в группу высокого риска с возможным изменением тактики хирургического лечения. Показатель LS RV FW может применяться в качестве неинвазивного прогностического маркера осложненного послеоперационного периода, что диктует необходимость рутинной оценки функции ПЖ у клапанных пациентов на дооперационном этапе.

Отношения и деятельность: все авторы заявляют об отсутствии потенциального конфликта интересов, требующего раскрытия в данной статье.

Литература/References

1. Golukhova EZ, Slivneva IV, Rybka MM, et al. Structural and functional changes of the right ventricle in COVID-19 according to echocardiography. Creative Cardiology. 2020;14(3):206-23 (In Russ.) Голухова Е. З., Сливнева И. В., Рыбка М. М. и др. Структурно-функциональные изменения правого желудочка при COVID-19 по данным эхокардиографии. Креативная кардиология. 2020;14(3):206-23. doi:10.24022/1997-3187-2020-14-3-206-223.
2. Golukhova EZ, Slivneva IV, Rybka MM, et al. Right ventricular systolic dysfunction as a predictor of adverse outcome in patients with COVID-19. Kardiologiia. 2020;60(11):16-29. (In Russ.) Голухова Е. З., Сливнева И. В., Рыбка М. М. и др. Систолическая дисфункция правого желудочка как предиктор неблагоприятного исхода у пациентов с COVID-19. Кардиология. 2020;60(11):16-29. doi:10.18087/cardio.2020.11.n1303.
3. Golukhova EZ, Slivneva IV, Mamalyga ML, et al. Right ventricular free-wall longitudinal speckle tracking strain as a prognostic criterion of adverse outcomes in patients with pulmonary hypertension: a systematic review and meta-analysis. Russian Journal of Cardiology. 2021;26(4):4417. (In Russ.) Голухова Е. З., Сливнева И. В., Мамалыга М. Л. и др. Продольная деформация свободной стенки правого желудочка по данным спекл-трекинг эхокардиографии как прогностический критерий неблагоприятных исходов у пациентов с легочной гипертензией: систематический обзор и мета-анализ. Российский кардиологический журнал. 2021;26(4):4417. doi:10.15829/1560-4071-2021-4417.
4. Lu KJ, Chen JX, Profitis K, et al. Right ventricular global longitudinal strain is an independent predictor of right ventricular function: a multimodality study of cardiac magnetic resonance imaging, real time three-dimensional echocardiography and speckle tracking echocardiography. Echocardiography. 2015;32(6):966-74. doi:10.1111/echo.12783.
5. Werther Evaldsson A, Ingvarsson A, Smith JG, et al. Echocardiographic right ventricular strain from multiple apical views is superior for assessment of right ventricular systolic function. Clin Physiol Funct Imaging. 2019;39(2):168-76. doi:10.1111/cpf.12552.
6. Li Y, Xie M, Wang X, et al. Right ventricular regional and global systolic function is diminished in patients with pulmonary arterial hypertension: a 2-dimensional ultrasound speckle tracking echocardiography study. Int J Cardiovasc Imaging. 2013;29(3):545-51. doi:10.1007/s10554-012-0114-5.

7. Werther Evaldsson A, Ingvarsson A, Waktare J, et al. Right ventricular speckle tracking assessment for differentiation of pressure- versus volume-overloaded right ventricle. Clin Physiol Funct Imaging. 2018;38(5):763-71. doi:10.1111/cpf.12477.
8. Estep JD, Jacob MS. Right Heart Failure: Underlying Pathophysiology, Causes, Diagnostic, and Treatment Considerations. Cardiol Clin. 2020;38(2):ix-x. doi:10.1016/j.ccl.2020.03.001.
9. Karam N, Stolz L, Orban M, et al. Impact of Right Ventricular Dysfunction on Outcomes After Transcatheter Edge-to-Edge Repair for Secondary Mitral Regurgitation. JACC Cardiovasc Imaging. 2021;14(4):768-78. doi:10.1016/j.jcmg.2020.12.015.
10. Del Rio JM, Grecu L, Nicoara A. Right Ventricular Function in Left Heart Disease. Semin Cardiothorac Vasc Anesth. 2019;23(1):88-107. doi:10.1177/1089253218799345.
11. Iacuzio L, Essayagh B, Civaia F, et al. Right-Sided Heart Structural and Functional Remodeling in Mitral Regurgitation Secondary to Mitral Valve Prolapse. Am J Cardiol. 2018;122(12):2095-103. doi:10.1016/j.amjcard.2018.08.062.
12. McDonagh TA, 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.
13. Lang RM, Badano LP, 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. J Am Soc Echocardiogr. 2015;28(1):1-39.e14. doi:10.1016/j.echo.2014.10.003.
14. Augustine DX, Coates-Bradshaw LD, Willis J, et al. Echocardiographic assessment of pulmonary hypertension: a guideline protocol from the British Society of Echocardiography. Echo Res Pract. 2018;5(3):G11-G24. doi:10.1530/ERP-17-0071.
15. Otto CM. Practice of clinical echocardiography 5th ed. Elseiver, 2016. p. 1024. ISBN: 0323401252.
16. Galli E, Guirette Y, Feneon D, et al. Prevalence and prognostic value of right ventricular dysfunction in severe aortic stenosis. Eur Heart J Cardiovasc Imaging. 2015;16(5):531-8. doi:10.1093/ehjci/jeu290.
17. Rosenkranz S, Gibbs JS, Wachter R, et al. Left ventricular heart failure and pulmonary hypertension. Eur Heart J. 2016;37(12):942-54. doi:10.1093/eurheartj/ehv512.
18. Bakar SN, Jia S, Smith SJ. Right ventricular failure management. Curr Opin Cardiol. 2019;34(2):213-7. doi:10.1097/HCO.0000000000000595.
19. Mehra MR, Park MH, Landzberg MJ, et al.; International Right Heart Failure Foundation Scientific Working Group. Right heart failure: toward a common language. J Heart Lung Transplant. 2014;33(2):123-6. doi:10.1016/j.healun.2013.10.015.
20. Towheed A, Sabbagh E, Gupta R, et al. Right Ventricular Dysfunction and Short-Term Outcomes Following Left-Sided Valvular Surgery: An Echocardiographic Study. J Am Heart Assoc. 2021;10(4):e016283. doi:10.1161/JAHA.120.016283.
21. Bootsma IT, de Lange F, Koopmans M, et al. Right Ventricular Function After Cardiac Surgery Is a Strong Independent Predictor for Long-Term Mortality. J Cardiothorac Vasc Anesth. 2017;31(5):1656-62. doi:10.1053/j.jvca.2017.02.008.
22. Thenappan T, Gomberg-Maitland M. Epidemiology of pulmonary hypertension and right ventricular failure in left heart failure. Curr Heart Fail Rep. 2014;11(4):428-35. doi:10.1007/s11897-014-0216-6.
23. Le Tourneau T, Deswarte G, Lamblin N, et al. Right ventricular systolic function in organic mitral regurgitation: impact of biventricular impairment. Circulation. 2013;127(15):1597-608. doi:10.1161/CIRCULATIONAHA.112.000999.
24. Slivneva IV, Sokolskaya NO, Latyshev MS, et al. A modern approach to assessing functional tricuspid insufficiency in aortic stenosis by means of 3D-echocardiography. Russian Journal of Thoracic and Cardiovascular Surgery. 2019;61(2):123-31. (In Russ.) Сливнева И.В., Сокольская Н.О., Латышев М.С. и др. Современный подход к оценке функциональной трикуспидальной недостаточности при аортальном стенозе посредством 3D-эхокардиографии. Грудная и сердечно-сосудистая хирургия. 2019;61(2):123-31. doi:10.24022/0236-2791-2019-61-2-123-131.
25. Skopin II, Latyshev MS, Slivneva IV, et al. Surgical management of functional tricuspid insufficiency with leading aortic stenosis — analysis of the results of our studies. Bakoulev Journal for Cardiovascular Diseases. 2019;20(1):61-70. (In Russ.). Скопин И.И., Латышев М.С., Сливнева И.В. и др. Коррекция сопутствующей трикуспидальной недостаточности при основном аортальном стенозе — анализ результатов собственных исследований. Бюллетень НЦССХ им. А.Н. Бакулева РАМН. 2019;20(1):61-70. doi:10.24022/1810-0694-2019-20-1-61-70.
26. Dreyfus GD. Functional tricuspid pathology: To treat or not to treat? That is the question. J Thorac Cardiovasc Surg. 2017;154(1):123-4. doi:10.1016/j.jtcvs.2017.03.015.
27. Prihadi EA, van der Bijl P, Dietz M, et al. Prognostic Implications of Right Ventricular Free Wall Longitudinal Strain in Patients With Significant Functional Tricuspid Regurgitation. Circ Cardiovasc Imaging. 2019;12(3):e008666. doi:10.1161/CIRCIMAGING.118.008666.
28. Hyllén S, Nozohoor S, Ingvarsson A, et al. Right ventricular performance after valve repair for chronic degenerative mitral regurgitation. Ann Thorac Surg. 2014;98(6):2023-30. doi:10.1016/j.athoracsur.2014.07.075.
29. Grapsa J, Taramasso M, Enriquez-Sarano M. Right Ventricular Adaptation, Tricuspid Regurgitation, and Clinical Outcomes: A Close Bond. JACC Case Rep. 2022;4(3):178-80. doi:10.1016/j.jaccas.2021.12.020.
30. Kukulski T, She L, Racine N, et al. Implication of right ventricular dysfunction on long-term outcome in patients with ischemic cardiomyopathy undergoing coronary artery bypass grafting with or without surgical ventricular reconstruction. J Thorac Cardiovasc Surg. 2015;149(5):1312-21. doi:10.1016/j.jtcvs.2014.09.117.
31. Di Mauro M, Foschi M, Tancredi F, et al. Additive and independent prognostic role of abnormal right ventricle and pulmonary hypertension in mitral-tricuspid surgery. Int J Cardiol. 2018;252:39-43. doi:10.1016/j.ijcard.2017.11.031.
32. Ye Y, Desai R, Vargas Abello LM, et al. Effects of right ventricular morphology and function on outcomes of patients with degenerative mitral valve disease. J Thorac Cardiovasc Surg. 2014;148(5):2012-20.e8. doi:10.1016/j.jtcvs.2014.02.082.