

Субклиническая систолическая дисфункция правого желудочка и миокардиальная работа левого желудочка у больных с выраженным аортальным стенозом: проспективное одноцентровое нерандомизированное исследование

Е.Н. Павлюкова, В.Г. Тимошенко, Р.М. Шарифулин, А.В. Афанасьев, С.И. Железнев, С.В. Семяхина, А.В. Богачев-Прокофьев

Для корреспонденции: Софья Владиславовна Семяхина, sophieff@mail.ru

Поступила в редакцию 1 декабря 2025 г. Исправлена 3 декабря 2025 г. Принята к печати 4 декабря 2025 г.

Цитировать: Павлюкова Е.Н., Тимошенко В.Г., Шарифулин Р.М., Афанасьев А.В., Железнев С.И., Семяхина С.В., Богачев-Прокофьев А.В. Субклиническая систолическая дисфункция правого желудочка и миокардиальная работа левого желудочка у больных с выраженным аортальным стенозом: проспективное одноцентровое нерандомизированное исследование. *Патология кровообращения и кардиохирургия*. 2025;29(4):78-88. <https://doi.org/10.21688/1681-3472-2025-4-78-88>

Информированное согласие

Получено информированное согласие пациентов на публикацию и использование медицинских данных в научных целях.

Финансирование

Работа выполнена при поддержке Российского научного фонда (грант № 23-15-00434 «Создание универсального самораскрывающегося биопротеза аортального клапана для мини-инвазивной (транскатетерной и бесшовной) имплантации»).

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Вклад авторов

Концепция и дизайн работы: Е.Н. Павлюкова, А.В. Богачев-Прокофьев

Сбор и анализ данных: все авторы

Статистическая обработка данных: Е.Н. Павлюкова

Написание статьи: Е.Н. Павлюкова, В.Г. Тимошенко

Исправление статьи: А.В. Богачев-Прокофьев

Утверждение окончательного варианта статьи: все авторы

ORCID

Е.Н. Павлюкова, <https://orcid.org/0009-0005-2978-9089>

В.Г. Тимошенко, <https://orcid.org/0009-0009-2792-7926>

Р.М. Шарифулин, <https://orcid.org/0000-0002-8832-2447>

А.В. Афанасьев, <https://orcid.org/0000-0001-7373-6308>

С.И. Железнев, <https://orcid.org/0000-0002-6523-2609>

С.В. Семяхина, <https://orcid.org/0000-0002-2812-5310>

А.В. Богачев-Прокофьев,

<https://orcid.org/0000-0003-4625-4631>

© Павлюкова Е.Н., Тимошенко В.Г., Шарифулин Р.М., Афанасьев А.В., Железнев С.И., Семяхина С.В., Богачев-Прокофьев А.В., 2025

Федеральное государственное бюджетное учреждение «Национальный медицинский исследовательский центр имени академика Е.Н. Мешалкина» Министерства здравоохранения Российской Федерации, Новосибирск, Российская Федерация

Аннотация

Актуальность. Число больных аортальным стенозом (АС) растет с увеличением продолжительности жизни населения. Согласно существующим рекомендациям хирургическое лечение показано при выраженном АС у пациентов с симптомами сердечной недостаточности либо при снижении фракции выброса (ФВ) или глобальной деформации левого желудочка (ЛЖ). ФВ ЛЖ не всегда отражает его контрактильность, также важна оценка функции правого желудочка (ПЖ), так как его дисфункция может сохраниться даже после вмешательства на аортальном клапане.

Цель. Оценить глобальную деформацию ПЖ, деформацию свободной стенки ПЖ и миокардиальную работу ЛЖ у больных с выраженным АС.

Методы. В проспективное нерандомизированное исследование включено 72 пациента с дегенеративным поражением аортального клапана и эффективной площадью отверстия менее 1,0 см². Комплекс методов исследования включал выполнение эхокардиографии, технологии Speckle Tracking Imaging-2D Strain для оценки деформации ЛЖ и ПЖ, миокардиальной работы ЛЖ и трехмерной визуализации ПЖ с построением трехмерной модели ПЖ и расчетом ФВ, фракции изменения площади, линейных размеров и амплитуды смещения фиброзного кольца трикуспидального клапана.

Результаты. Снижение эффективности миокардиальной работы ЛЖ обнаружено у 24 (33,3 %) пациентов. Субклиническая систолическая дисфункция ПЖ (снижение глобальной деформации ПЖ) выявлена у 40 (55,6 %) пациентов, а снижение деформации свободной стенки ПЖ в продольном направлении отмечено у 11 (15,3 %) пациентов. Установлена взаимосвязь субклинической систолической дисфункции ПЖ с миокардиальной работой ЛЖ у больных с выраженным АС.

Заключение. Субклиническая дисфункция ЛЖ и ПЖ отмечается у значительного количества больных с выраженным АС. Анализ и использование этих данных в будущем, по-видимому, позволит изменить подход к классификации АС и срокам выполнения хирургического лечения.

Ключевые слова: аортальный стеноз; деформация правого желудочка; миокардиальная работа левого желудочка; систолическая дисфункция правого желудочка; эхокардиография



Subclinical right ventricular systolic dysfunction and left ventricular myocardial performance in patients with severe aortic stenosis: a prospective single-center non-randomized study

Elena N. Pavlyukova, Veronica G. Timoshenko, Ravil M. Sharifulin, Alexander V. Afanasyev, Sergey I. Zheleznev, Sofya V. Semyahina, Alexander V. Bogachev-Prokophiev

Corresponding author: Sofya V. Semyahina, sophieff@mail.ru

Received 1 December 2025. Revised 3 December 2025. Accepted 4 December 2025.

How to cite: Pavlyukova E.N., Timoshenko V.G., Sharifulin R.M., Afanasyev A.V., Zheleznev S.I., Semyahina S.V., Bogachev-Prokophiev A.V. Subclinical right ventricular systolic dysfunction and left ventricular myocardial performance in patients with severe aortic stenosis: a prospective single-center non-randomized study. *Patologiya krovoobrashcheniya i kardiokirurgiya = Circulation Pathology and Cardiac Surgery*. 2025;29(4):78-88. (In Russ.) <https://doi.org/10.21688/1681-3472-2025-4-78-88>

Informed consent

The patient's informed consent to use the records for medical purposes is obtained.

Funding

This work was supported by the Russian Science Foundation (grant No. 23-15-00434).

Conflict of interests

The authors declare no conflict of interest.

Contribution of the authors

Conception and study design: E.N. Pavlyukova, A.V. Bogachev-Prokophiev

Data collection and analysis: E.N. Pavlyukova, V.G. Timoshenko, R.M. Sharifulin, A.V. Afanasyev, S.I. Zheleznev, S.V. Semyahina, A.V. Bogachev-Prokophiev

Statistical analysis: E.N. Pavlyukova

Drafting the article: E.N. Pavlyukova, V.G. Timoshenko

Critical revision of the article: A.V. Bogachev-Prokophiev

Final approval of the version to be published: E.N. Pavlyukova, V.G. Timoshenko, R.M. Sharifulin, A.V. Afanasyev, S.I. Zheleznev, S.V. Semyahina, A.V. Bogachev-Prokophiev

ORCID

E.N. Pavlyukova, <https://orcid.org/0009-0005-2978-9089>

V.G. Timoshenko, <https://orcid.org/0009-0009-2792-7926>

R.M. Sharifulin, <https://orcid.org/0000-0002-8832-2447>

A.V. Afanasyev, <https://orcid.org/0000-0001-7373-6308>

S.I. Zheleznev, <https://orcid.org/0000-0002-6523-2609>

S.V. Semyahina, <https://orcid.org/0000-0002-2812-5310>

A.V. Bogachev-Prokophiev,

<https://orcid.org/0000-0003-4625-463>

© 2025 Pavlyukova et al.

Meshalkin National Medical Research Center, Novosibirsk, Russian Federation

Abstract

Background: The number of patients with aortic stenosis (AS) is increasing with the aging population. According to current guidelines, surgical treatment is recommended for severe AS in patients with symptoms of heart failure, a reduced ejection fraction (EF), and global left ventricular (LV) Strain. LVEF does not always reflect its contractility. Assessing right ventricular (RV) function is also important, as its dysfunction may persist even after aortic valve surgery.

Objective: The study was aimed to assess RV global strain, strain of RV free wall and LV myocardial performance in patients with severe AS.

Methods: This prospective non-randomized study included 72 patients with degenerative aortic valve disease and an effective orifice area of less than 1.0 cm². The complex of examination methods included echocardiography and Speckle Tracking Imaging-2D Strain technology for assessing LV and RV deformation, LV myocardial function, 3D visualization of RV with subsequent construction of a 3D RV model and calculation of EF, fractional area change, linear dimensions, and tricuspid annulus displacement amplitude.

Results: Decreased LV myocardial function was detected in 24 patients (33.3 %). Subclinical RV systolic dysfunction, namely decreased RV global strain, was detected in 40 (55.6 %) patients, while decreased RV free wall strain was observed in 11 (15.3 %) patients. Interplay was revealed between subclinical RV systolic dysfunction and LV myocardial performance in patients with severe AS.

Conclusion: Subclinical LV and RV dysfunctions are observed in a significant number of patients with severe AS. Analysis and use of these data will enable to change the approach to the AS classification and the timing of surgical treatment in the future.

Keywords: aortic stenosis; echocardiography; left ventricular myocardial work; right ventricular strain; right ventricular systolic dysfunction



Введение

Число пациентов с аортальным стенозом (АС) увеличивается по мере старения населения [1]. Распространенность аортального стеноза в западных странах составляет примерно 12 % среди людей в возрасте ≥ 75 лет [2], выраженный АС наблюдается у 41,2 % лиц [3]. У 3–4 % населения старше 65 лет эффективная площадь отверстия аортального клапана – менее $1,0 \text{ см}^2$ [4; 5]. Существующие в настоящее время рекомендации предлагают проводить протезирование или транскатетерную имплантацию аортального клапана при выраженном АС у больных с появлением симптомов сердечной недостаточности либо при снижении фракции выброса (ФВ) или глобальной деформации левого желудочка (ЛЖ) [6]. ФВ ЛЖ это величина, выраженная в процентах, показывающая изменения объема полости ЛЖ в систолу относительно диастолы, следовательно, не являющаяся отражением контрактильности. В настоящее время с позиции контрактильности ЛЖ рассматривают деформацию миокарда. Технология «след пятна» (Speckle Tracking Imaging – 2D Strain) создана для оценки контрактильности сердечной мышцы с позиции деформации (Strain) и рекомендована в рутинной клинической практике [7]. Снижение глобальной продольной деформации ЛЖ при нормальных значениях ФВ ЛЖ свидетельствует о субклинической систолической дисфункции ЛЖ [8], которая предшествует снижению ФВ ЛЖ и является прогностическим критерием выживаемости у данной категории пациентов [9–11]. При анализе глобальной деформации ЛЖ не учитывается постнагрузка, которая имеет место при АС и может оказывать влияние на систолическую функцию ЛЖ [12]. В настоящее время разработана технология неинвазивной оценки миокардиальной работы ЛЖ, которая тесно коррелирует с инвазивной оценкой производительности миокарда и потреблением кислорода. Используя данную технологию, можно оценить эффективность глобальной миокардиальной работы ЛЖ, которая, по сути, представляет собой общую оценку производительности ЛЖ, «полезную» (конструктивную) миокардиальную работу и работу неэффективную, потраченную впустую. Однако данные, касающиеся миокардиальной работы при АС, еще недостаточно хорошо представлены в литературе. Существует мнение [13], что оценка показателей миокардиальной работы ЛЖ необходима у больных АС, поскольку по их значениям можно судить о систолической функции ЛЖ с учетом постнагрузки, и это дает более полное представление о функции и ремоделировании ЛЖ.

Необходимо отметить то факт, что при АС может иметь место дисфункция правого желудочка (ПЖ), которая может сохраняться и после перенесенной транскатетерной имплантации аортального клапана [14; 15]. Показано, что дисфункция ПЖ, выявленная в период до выполнения вмешательства на аортальном клапане, более чем в 2 раза повышает риск сердечно-сосудистой смертности через 1 год после выполненной транскатетерной имплантации аортального клапана. По данным Galli E. и соавт. [16], распространенность дисфункции ПЖ среди больных с АС составляла 24 % и была связана с наихудшим прогнозом [17; 18]. Высокая частота дисфункции ПЖ, вероятно, в большей степени обусловлена «взаимозависимостью» ПЖ и ЛЖ и в меньшей степени дисфункцией ЛЖ на поздних стадиях заболевания. Следует отметить, что в настоящее время недостаточно данных о связи миокардиальной работы ЛЖ с субклинической систолической дисфункцией ПЖ при АС.

Гипотеза исследования – субклиническая систолическая дисфункция ПЖ взаимосвязана с миокардиальной работой и глобальной деформацией ЛЖ при тяжелом АС.

Цель исследования – оценить глобальную деформацию ПЖ, деформацию свободной стенки ПЖ и миокардиальную работу ЛЖ у больных с выраженным АС.

Методы

Анализ выполнен у 72 больных (из них 31 (41 %) мужчина), имевших дегенеративное поражение аортального клапана с эффективной площадью отверстия менее $1,0 \text{ см}^2$, находившихся на стационарном лечении клиники института патологии кровообращения НМИЦ им. ак. Е.Н. Мешалкина с мая 2024 г. по май 2025 г. На момент исследования у всех пациентов с АС наблюдались нормальные уровни артериального давления (АД) на фоне гипотензивной терапии. Значения АД были получены как средняя арифметическая величина трех последовательных измерений, оцененных с помощью обычного сфигмоманометра. Наличие ангинозных болей отмечали 30 (40,5 %) пациентов, а синкопы были выявлены у 10 (13,5 %) больных. Поражение коронарных артерий наблюдалось у 46 (62,2 %) пациентов, но на момент проведения исследования была осуществлена полная реваскуляризация путем выполнения стентирования коронарных артерий. Сахарный диабет 2-го типа отмечался у 19 (25,7 %) больных, но во время проведения исследования гликемический контроль был компенсированным.

Критериями исключения служили низко-градиентный АС, эффективная площадь аортального клапана $1,0 \text{ см}^2$ и более, ФВ ЛЖ менее 50 %, ревматическое поражение аортального клапана, перенесенный инфаркт миокарда, патология легких, печени, наличие злокачественных образований, несогласие больного на хирургическое лечение.

Антропометрические показатели (рост, вес), результаты биохимических показателей (уровни глюкозы натощак, креатинина, общего холестерина и холестерина низкой и высокой плотности) были получены у всех пациентов. Данные о медикаментозной терапии были получены у всех больных, включенных в данный анализ. Для каждого пациента была рассчитана площадь поверхности тела.

Исследование было одобрено Этическим комитетом института патологии кровообращения НМИЦ им. ак. Е.Н. Мешалкина (14 мая 2024 г.), и все пациенты дали письменное информированное согласие.

Эхокардиография (ЭхоКГ) была выполнена из трансторакального доступа на ультразвуковой системе экспертного уровня Vivid E95 (GE Healthcare) с использованием матричного фазированного датчика M5S (1,5–4,3 МГц) и трехмерного матричного датчика 4Vc. Согласно общепринятым рекомендациям по трансторакальной ЭхоКГ [19] определяли конечный систолический (КСО), конечный диастолический (КДО) объемы ЛЖ на уровне четырех и двух камер, ФВ ЛЖ, массу миокарда (ММ) ЛЖ, размеры ПЖ. Диаметр выводного отдела (ВО) ЛЖ был измерен с помощью увеличенного парастернального изображения по длинной оси ЛЖ проксимальнее аортального клапана. Пиковая скорость потока и интеграл скорости потока в аорте оценивали с использованием постоянной доплерографии из апикального доступа на уровне пяти камер. Ударный объем (УО) ЛЖ рассчитывали по интегралу скорости-времени потока в ВО ЛЖ в режиме импульсно-волновой доплерографии. Эффективную площадь аортального клапана определяли по уравнению непрерывности потока, которое включало интегралы скорости-времени ВО ЛЖ и аортального клапана, которые затем индексировали на площадь поверхности тела. Кроме того, рассчитывали доплерографический индекс (DI) отношения интеграла скорости в ВО ЛЖ к интегралу скорости аортального потока (FVI_{LVOT}/FVI_{Ao}). Средний и пиковый трансклапанные градиенты на аортальном клапане были рассчитаны с помощью уравнения Бернулли.

Критериями выраженного АС служили максимальная скорость трансаортального потока 4 м/с и более, средний градиент на аортальном клапане

40 мм рт. ст. и более, эффективная площадь отверстия – менее $1,0 \text{ см}^2$ (индекс эффективной площади отверстия аортального клапана – $0,6 \text{ см}^2/\text{см}^2$ и менее) и значения показателя DI (отношения интегралов скорости в ВО ЛЖ к аортальному потоку – FVI_{LVOT}/FVI_{Ao}) – 25 усл. ед. и менее [20; 21].

Использование трехмерной визуализации ПЖ с последующим построением трехмерной модели ПЖ [22; 23] позволило оценить конечные систолический и диастолический объемы (KDO_{3D} и KCO_{3D}), их индексы, ФВ ПЖ_{3D}, длинник (L_{3D}) и два поперечника на уровне базальных (D_1) и средних (D_2) сегментов, амплитуду смещения фиброзного кольца трикуспидального клапана на стороне свободной стенки ПЖ ($TAPSE_{3D}$) и фракцию изменения полости ПЖ (FIP_{3D}). За снижение ФВ ПЖ в трехмерном режиме принимали значения менее 44 % для мужчин и менее 46 % для женщин [24].

Оценку деформации ЛЖ, ПЖ и свободной стенки ПЖ выполняли с помощью технологии «след пятна» (Speckle Tracking Imaging – 2D Strain) при частоте кадров (Frame Rate) не менее 40 в секунду. Для оценки деформации ПЖ и свободной стенки ПЖ исследование выполнялось из апикальной позиции на уровне четырех камер с фокусировкой ПЖ (RVf4C) и расположением верхушки ЛЖ в центре сканирующего сектора с отображением наибольших размеров ПЖ [25; 26]. Область интереса включала свободную стенку ПЖ и межжелудочковую перегородку. Ширина зоны интереса регулировалась таким образом, чтобы она захватывала всю толщину свободной стенки ПЖ. Свободная стенка ПЖ делилась на три сегмента (базальный, средний и апикальный) с определением деформации в каждом сегменте. Деформация свободной стенки ПЖ определялась как среднее арифметическое значение деформации трех сегментов свободной стенки ПЖ. Критерием снижения глобальной деформации ПЖ и свободной стенки ПЖ служила величина Strain менее 20 % (в абсолютном значении).

Оценка деформации ЛЖ осуществлялась из апикальной позиции на уровне четырех, двух камер и по длинной оси ЛЖ с использованием опции AFI-анализа. Глобальная деформация ЛЖ в продольном направлении рассчитывалась как среднее арифметическое значение деформации ЛЖ на уровне четырех, двух камер и по длинной оси ЛЖ. За снижение глобальной деформации ЛЖ в продольном направлении принимали значения деформации ЛЖ менее 17 % (в абсолютном значении). После получения значений глобальной и сегментарной деформации ЛЖ в продольном направлении переходили в опцию «миокардиальная работа» (myocardial work),

где на основании значения глобальной деформации ЛЖ и уровня АД автоматически строилась кривая «давление – деформация» с предварительной коррекцией изоволюмического периода и фазы выброса с предоставлением значений показателей миокардиальной работы ЛЖ.

Индекс глобальной работы (Global Work Index, GWI), который свидетельствует о работе, осуществляемой ЛЖ в период времени от закрытия до открытия митрального клапана, соответствует площади петли «давление – деформация».

Глобальная конструктивная работа (Global Constructive Work, GCW) отражает работу, которая затрачивается на укорочение волокон в систолу и их удлинение во время изоволюметрического расслабления ЛЖ.

Глобальная неэффективная работа, или работа, потраченная впустую (Global Wasted Work, GWW), свидетельствует об удлинении волокон в систолу и укорочении их в период изоволюметрического расслабления.

Эффективность глобальной работы (Global Work Efficiency, GWE) – отношение конструктивной работы к сумме конструктивной и неэффективной работы [27]. Величину показателя GWE менее 90 % принимали как сниженное значение [28].

Статистический анализ

Статистический анализ материала проводился с использованием программы Statistica, версия 12. Анализ переменных был выполнен с использованием теста Манна – Уитни (Manna – Whitney U), поскольку гипотеза о гауссовском распределении по критериям Колмогорова – Смирнова, Лиллиефорса (Lilliefors) и Шапиро – Уилка (Shapiro – Wilk) была отвергнута. Оценка связей между парами качественных признаков выполнялась с использованием анализа таблиц сопряженности с вычислением значения Пирсона (χ^2), числа степеней свободы (df), достигнутого уровня значимости. Для оценки силы связи двух качественных переменных определяли значения таких мер связи, как коэффициент контингенции (CC) и Phi-коэффициент. Оценка корреляционных связей между парами количественных признаков осуществлялась с использованием непараметрического рангового коэффициента Спирмена (Spearman Rank Order Correlations).

Во всех процедурах статистического анализа критический уровень значимости p принимался равным 0,05. Результаты представлены в виде $M \pm SD$ (где M – среднее арифметическое, SD – среднеквадратичное отклонение), медианы, нижнего и верхнего квартилей.

Табл. 1. Клиническая характеристика и ЭхоКГ-показатели больных с выраженным АС

Показатель	Me	Нижний – верхний квартили
Возраст, лет	68,000	64,000–73,000
Максимальный градиент на Ао клапане, мм рт. ст.	87,965	72,000–107,260
Средний градиент на Ао клапане, мм рт. ст.	52,975	42,100–65,300
Эффективная площадь аортального клапана, см ²	0,600	0,490–0,720
DI (FVI _{LVOT} /FVI _{Ао}), усл. ед.	0,223	0,183–0,245
МЖП, мм	15,000	12,900–16,500
ЗС ЛЖ, мм	12,000	11,000–14,000
КДР, мм	47,000	42,000–52,000
КСР, мм	27,800	24,000–33,000
ОТС, усл. ед.	0,587	0,489–0,675
ММ ЛЖ, г	87,180	62,441–117,786
ИММ ЛЖ, г	45,946	33,813–58,390
КДО ЛЖ, мл	89,000	72,500–120,000
КСО ЛЖ, мл	28,000	17,500–40,000
ФВ ЛЖ _{bi-plane} %	70,000	64,000–76,000
Объем ЛП, мл	78,125	61,000–102,000
Индекс объема ЛП, мл/м ²	40,969	30,612–53,081
E/A _{mitr} усл. ед.	0,758	0,616–1,043
E _{mitr} /E _m усл. ед.	10,500	8,375–13,714
E _{tric} /E _r усл. ед.	5,333	4,000–7,125
Толщина свободной стенки правого желудочка, мм	5,000	4,800–7,000
GLS LV, %	-14,200	-16,100–(-12,600)
Общий белок, г/л	64,100	59,800–68,300
Общий холестерин, ммоль/л	4,140	3,660–4,990
ХС-ЛПВП, ммоль/л	1,145	0,980–1,340
Мочевая кислота, мкмоль/л	328,00	275,000–365,500
Глюкоза, ммоль/л	5,270	4,830–5,790
Гликированный гемоглобин	6,300	6,00–7,200
Креатинин	90,00	78,00–100,00

Примечание. Ао – аорта; ЗС – задняя стенка левого желудочка; ИММ – индекс массы миокарда; КДО – конечный диастолический объем; КДР – конечный диастолический размер; КСО – конечный систолический объем; КСР – конечный систолический размер; ЛЖ – левый желудочек; ЛП – левое предсердие; МЖП – межжелудочковая перегородка; ММ – масса миокарда; ОТС – относительная толщина стенки; ХС-ЛПВП – холестерин липопротеинов высокой плотности; DI – безразмерный индекс отношения интеграла скорости потока в выходном отделе левого желудочка к интегралу скорости трансортального потока (FVI_{LVOT}/FVI_{Ао}); E/A_{mitr} – показатель отношения пиков трансмитрального потока; E_m – скорость движения фиброзного кольца митрального клапана на стороне боковой стенки ЛЖ в раннюю диастолу, см/с; E_{mitr} – пик скорости трансмитрального потока в раннюю диастолу, см/с; E_{tric} – пик скорости трансстрикуспидального потока в раннюю диастолу, см/с; E_r – скорость движения фиброзного кольца митрального клапана на стороне боковой стенки ЛЖ в раннюю диастолу, см/с; GLS LV – глобальная деформация ЛЖ в продольном направлении.

Табл. 2. Значения глобальной деформации и показателей миокардиальной работы ЛЖ у больных с выраженным АС

Показатель	Значения GWE	Me	Минимальное значение	Максимальное значение	Нижний квартиль	Верхний квартиль	Пара, имеющая значимые различия (Z_{adj} ; p)
GLS LV, %	<90 %	-12,25	-16,60	-4,60	-13,65	-10,45	$Z_{adj} = -4,58$; $p = 0,000001$
	≥90 %	-15,39	-21,20	-11,40	-16,96	-13,25	
GWI, мм рт. ст.%	<90 %	1088,50	513,00	1755,00	966,00	1366,00	$Z_{adj} = 4,01$; $p = 0,00003$
	≥90 %	1554,50	906,00	2522,00	1315,50	1773,50	
GWE,%	<90 %	86,00	77,00	89,00	83,50	88,00	$Z_{adj} = 6,90$; $p = 0,000000$
	≥90 %	92,50	90,00	98,00	91,00	94,50	
GCW, мм рт. ст.%	<90 %	1391,50	976,00	2643,00	1208,50	1692,50	$Z_{adj} = 3,38$; $p = 0,0005$
	≥90 %	1780,500	1207,00	2758,00	1556,50	2089,00	
GWW, мм рт. ст.%	<90 %	192,500	115,00	411,00	150,50	247,00	$Z_{adj} = -5,30$; $p = 0,000001$
	≥90 %	102,000	29,00	220,00	77,00	150,00	

Примечание. АС – аортальный стеноз; ЛЖ – левый желудочек; GCW – Global Constructive Work – глобальная конструктивная работа; GLS – Global Longitudinal Strain – глобальная деформация в продольном направлении; GWE – Global Work Efficiency – эффективность глобальной работы; GWI – Global Work Index – индекс глобальной работы; GWW – глобальная неэффективная работа, или работа, потраченная впустую; LV – left ventricle.

Результаты

Клиническая характеристика и ЭхоКГ-показатели пациентов с АС приведены в табл. 1.

Миокардиальная работа у больных с выраженным АС. Снижение эффективности миокардиальной работы обнаружено у 24 (33,33 %) из 72 пациентов с АС. Показатели миокардиальной работы ЛЖ в зависимости от значения показателя эффективности миокардиальной работы (GWE) приведены в табл. 2. Выявлены различия в корреляционных связях показателей миокардиальной работы с максимальным и средним градиентами трансортального потока, эффективной площадью аортального клапана и величиной DI в зависимости от значения показателя GWE 90 % и более и GWE менее 90 % (табл. 3). У пациентов со значе-

ниями показателя GWE 90 % и более максимальный и средний трансортальные градиенты, интеграл скорости аортального потока и DI были взаимосвязаны с глобальной деформацией ЛЖ и показателями миокардиальной работы: GWI и GCW (см. табл. 3). Аналогичные связи отсутствовали у лиц со значением GWE менее 90 %. В подгруппе лиц, имевших значение GWE менее 90 %, данный показатель коррелировал с площадью аортального клапана ($r = 0,45$; $p = 0,03$), и не было выявлено аналогичной связи у пациентов со значением GWE 90 % и более.

Глобальная деформация правого желудочка и деформация свободной стенки правого желудочка. Нарушение глобальной деформации ПЖ обнаружено у 40 (55,6 %) из 72 пациентов с АС, а сни-

Табл. 3. Корреляционные связи максимального и среднего градиентов, интеграла скорости аортального потока и показателя DI с глобальной деформацией ЛЖ и параметрами миокардиальной работы ЛЖ у больных с АС с величиной GWE 90 % и более

Показатель	GLS		GWI		GCW	
	r	p	r	p	r	p
Максимальный градиент	0,38	0,007	-0,39	0,005	-0,45	0,001
Средний градиент	0,42	0,002	-0,43	0,002	-0,48	0,0001
Интеграл скорости кровотока на аортальном клапане	0,47	0,006	-0,48	0,005	-0,52	0,001
DI	-0,51	0,001	0,44	0,010	0,48	0,008

Примечание. АС – аортальный стеноз; ЛЖ – левый желудочек; DI – безразмерный индекс отношения интеграла скорости потока в выходном отделе левого желудочка к интегралу скорости трансортального потока (FVI LVOT/FVIAo); GCW – Global Constructive Work – глобальная конструктивная работа; GLS – Global Longitudinal Strain – глобальная деформация в продольном направлении; GWE – Global Work Efficiency – эффективность глобальной работы; GWI – Global Work Index – индекс глобальной работы.

Табл. 4. Показатели миокардиальной работы и глобальной деформации ЛЖ у больных с выраженным АС с нарушением и без нарушения глобальной деформации ПЖ

Показатель	Группа пациентов	Me	Нижний – верхний квартиль	Пара, имеющая значимые различия	
				Z _{adj}	p
GLS LV, %	RV Strain < 20 %	-12,25	-13,65–(-10,45)	-4,58	0,000001
	RV Strain ≥ 20 %	-15,56	-16,95–(-13,25)		
GWI, мм рт. ст.%	RV Strain < 20 %	1095,00	1066,00–1632,00	-1,990	0,046
	RV Strain ≥ 20 %	1408,00	1288,50–1722,00		
GWE, мм рт. ст.%	RV Strain < 20 %	88,00	86,00–92,00	-2,079	0,038
	RV Strain ≥ 20 %	92,00	89,00–94,00		
GCW, мм рт. ст.%	RV Strain < 20 %	1356,00	1232,00–1941,00	-1,681	0,092
	RV Strain ≥ 20 %	1673,50	1457,50–2062,00		
GWW, мм рт. ст.%	RV Strain < 20 %	150,00	136,00–176,00	1,812	0,069
	RV Strain ≥ 20 %	116,00	81,00–173,00		

Примечание. АС – аортальный стеноз; ЛЖ – левый желудочек; ПЖ – правый желудочек; GCW – Global Constructive Work – глобальная конструктивная работа; GLS LV – Global Longitudinal Strain – глобальная деформация ЛЖ в продольном направлении; GWE – Global Work Efficiency – эффективность глобальной работы; GWI – Global Work Index – индекс глобальной миокардиальной работы; GWW – Global Wasted Work – глобальная неэффективная работа, или работа, потраченная впустую.

жение деформации свободной стенки ПЖ отмечено у 11 (15,3 %) больных при величине ФВ ПЖ_{3D} 44 % и более у мужчин и более 46 % у женщин. Не выявлено различий в показателях внутрисердечной гемодинамики, ФВ ПЖ_{3D}, ФИП_{3D} и TAPSE_{3D} между пациентами с нарушением деформации ПЖ и больными, не

имевшими субклинической систолической дисфункции ПЖ. Глобальная деформация ПЖ и деформация свободной стенки ПЖ коррелировали с величиной глобальной деформации ЛЖ ($r = 0,68$; $p = 0,003$ и $r = 0,61$; $p = 0,004$ соответственно). Глобальная деформация ЛЖ, индекс и эффективность миокардиальной

Табл. 5. Корреляционные связи показателей миокардиальной работы ЛЖ с глобальной деформацией и систолической функцией ПЖ у больных с выраженным АС

Показатель	Все больные с АС (n = 72)		Пациенты, имевшие GWE < 90 % (n = 24)		Пациенты, имевшие GWE ≥ 90 % (n = 48)	
	r	p	r	p	r	p
ФВ ПЖ _{3D}						
GWI	-	-	0,66	0,03	-	-
GWE	0,60	0,00003	-	-	-	-
GCW	0,64	0,00008	0,50	0,01	0,50	0,01
TAPSE _{3D}						
GWI	0,72	0,00004	0,75	0,003	0,61	0,003
GWE	0,71	0,000009	-	-	0,64	0,001
GCW	0,70	0,0000009	0,79	0,005	0,59	0,004
GWW	-0,40	0,01	-	-	-0,44	0,04
ФИП ПЖ _{3D}						
GWI	0,47	0,0002	0,74	0,008	-	-
GWE	0,41	0,009	-	-	-	-
GCW	0,40	0,01	0,65	0,02	-	-

Примечание. АС – аортальный стеноз; ЛЖ – левый желудочек; ПЖ – правый желудочек; ФВ ПЖ_{3D} – ФВ ПЖ, оцененная при трехмерной визуализации правого желудочка; ФИП ПЖ_{3D} – фракция изменения полости ПЖ при трехмерной визуализации; GCW – Global Constructive Work – глобальная конструктивная работа; GLS – Global Longitudinal Strain – глобальная деформация в продольном направлении; GWE – Global Work Efficiency – эффективность глобальной работы; GWI – Global Work Index – индекс глобальной работы; GWW – Global Wasted Work – глобальная неэффективная работа, или работа, потраченная впустую; TAPSE_{3D} – амплитуда смещения фиброзного кольца трикуспидального клапана на стороне свободной стенки правого желудочка.

работы были значимо ниже у пациентов со сниженной глобальной деформацией ПЖ (табл. 4). Показатели миокардиальной работы ЛЖ коррелировали с ФВ ПЖ_{3D}, ФИП_{3D}, TAPSE_{3D} (табл. 5). Обнаружена взаимосвязь ФВ ПЖ_{3D}, TAPSE_{3D} с максимальным ($r = -0,37; p = 0,03$; и $r = -0,36; p = 0,04$ соответственно), средним ($r = -0,41; p = 0,02$ и $-r = -0,36; p = 0,04$ соответственно) градиентами аортального потока и показателем DI ($r = 0,51; p = 0,005$ и $r = 0,37; p = 0,01$ соответственно), а интеграл трансортального потока коррелировал с индексированными объемами ПЖ (КДО_{3D}: $r = 0,45; p = 0,01$; КСО_{3D}: $r = 0,43; p = 0,02$) и длинником ПЖ ($r = 0,44; p = 0,01$).

Таким образом, снижение эффективности миокардиальной работы ЛЖ обнаружено у 24 (33,33 %) из 72 пациентов с АС. Субклиническая систолическая дисфункция ПЖ (снижение глобальной деформации ПЖ) выявлена у 40 (55,55 %) пациентов среди больных АС, а снижение деформации свободной стенки ПЖ в продольном направлении отмечено у 11 (15,27 %) пациентов. Установлена взаимосвязь субклинической систолической дисфункции ПЖ с миокардиальной работой ЛЖ у больных с выраженным АС.

Обсуждение

Согласно результатам нашего исследования, показатель эффективности глобальной работы (GWE) менее 90 % был выявлен у 24 (33,33 %) больных АС. При этом индекс глобальной работы (GWI) был значимо ниже при значении GWE менее 90 %. По-видимому, индекс миокардиальной работы отражает реакцию ЛЖ на повышенную постнагрузку, следовательно, снижение его значения может в последующем стать критерием неадекватного ремоделирования ЛЖ. По мнению Wu H.W. и соавт. [27], индекс миокардиальной работы может не только представлять собой ранний маркер неблагоприятного ремоделирования ЛЖ, но и свидетельствовать о повреждении сердечной мышцы. По мнению Russell K. и соавт. [28], кривая петли «площадь давления – напряжения ЛЖ» отражает метаболизм миокарда. В пользу данного положения свидетельствует корреляционная связь индекса глобальной миокардиальной работы с метаболизмом глюкозы в сердечной мышце. Это дает основание полагать, что более низкие значения GWI могут свидетельствовать как о снижении метаболизма в сердечной мышце, так и о неадекватном ремоделировании ЛЖ в ответ на повышенную постнагрузку [29].

Данные литературы свидетельствуют, что показатели миокардиальной работы зависят от выраженности АС [30–32]. Мы получили корреляционные связи трансортального градиента, интеграла

трансаортального потока и показателя DI с индексом конструктивной миокардиальной работы у больных с АС, имевших значение GWE 90 % и более. У пациентов с величиной GWE менее 90 % эффективность миокардиальной работы была связана с площадью аортального клапана. Отсутствие корреляционных связей трансортального потока и трансортального градиента с эффективностью миокардиальной работы у больных с АС при значении показателя GWE менее 90 % можно объяснить возможной «утратой» компенсаторных механизмов продольно ориентированных мышечных волокон ЛЖ.

У 55,6 % больных АС выявлено снижение деформации ПЖ, а изолированное нарушение деформации свободной стенки ПЖ – у 15,27 % пациентов с АС. По данным литературы, при АС дисфункция ПЖ варьируется от 8,7 до 33 % [33–38]. Такой диапазон различий в частоте систолической дисфункции ПЖ можно объяснить неоднородностью ЭхоКГ-показателей, которые использовались в оценке функции ПЖ. Согласно данным вышеуказанной литературы [33–38], пороговые значения таких показателей, как TAPSE (менее 1,4 см), скорость движения фиброзного кольца трикуспидального клапана на стороне свободной стенки ПЖ (S' менее 6 см/с) и ФИП (менее 25 %), позволяли прогнозировать дисфункцию ПЖ при АС. По мнению Ratwatte S. и соавт. [32], пороговые значения показателей TAPSE, FAC (fractional area change, фракционное изменение площади правого желудочка) могут быть критериями выявления пациентов высокого риска, что в перспективе позволит применять целенаправленные стратегии ведения после протезирования аортального клапана. В то же время другие исследователи считают, что показатели ФИП, TAPSE связаны с исходом заболевания, в то время как деформация ПЖ является более чувствительным критерием выявления ремоделирования желудочка [38]. Согласно мнению Winkler N.E. и соавт. [33], у пациентов с тяжелой формой АС необходимо оценить деформацию ПЖ в продольном направлении, и при ее снижении следует принимать решение о хирургическом лечении аортального клапана, чтобы избежать стойкого ремоделирования сердца и ухудшения состояния пациента после вмешательства. Исследования деформации ПЖ показали, что глобальная деформация ПЖ в продольном направлении ниже у пациентов при тяжелом АС по сравнению с лицами с умеренным АС [39]. Снижение деформации ПЖ, свидетельствующее о субклинической систолической дисфункции ПЖ, не укладывается в стадию поражения сердца при АС, предложенную Vollema E. и соавт. [39]. Во-первых, снижение деформации в продольном

направлении обусловлено дисфункцией продольно ориентированных мышечных волокон, которые расположены как в правом, так и в левом желудочке. Выявленная бивентрикулярная дисфункция продольно ориентированных мышечных волокон дает основание полагать, что АС является патологией не только аортального клапана, но и сердечной мышцы. Снижение деформации как ЛЖ, так и ПЖ, наличие взаимосвязи субклинической систолической дисфункции ПЖ с миокардиальной работой ЛЖ есть результат межжелудочкового взаимодействия, которое описывает влияние наполнения, функции, геометрии и синхронности одного желудочка на наполнение, функцию, геометрию и синхронность противоположного желудочка [40; 41].

Заключение

Субклиническая дисфункция левого и правого желудочков отмечается у значительного количества пациентов с выраженным аортальным стенозом по данным ЭхоКГ. Анализ и использование этих данных, по-видимому, в будущем позволит изменить подход к классификации АС и сроки выполнения хирургического лечения. Мы рассматриваем это исследование как предварительное, чтобы выдвинуть гипотезы для будущих исследований на более крупной выборке пациентов с АС. Кроме того, исследования с последующим наблюдением за этой группой больных после протезирования аортального клапана позволят получить больше информации о прогностической ценности миокардиальной работы ЛЖ и дисфункции ПЖ в предоперационном периоде.

Список литературы / References

1. Danielsen R., Aspelund T., Harris T.B., Gudnason V. The prevalence of aortic stenosis in the elderly in Iceland and predictions for the coming decades: the AGES-Reykjavik study. *Int J Cardiol.* 2014;176(3):916-22. PMID: 25171970; PMCID: PMC4742571. <https://doi.org/10.1016/j.ijcard.2014.08.053>
2. Osnabrugge R.L., Mylotte D., Head S.J., Van Mieghem N.M., Nkomo V.T., LeReun C.M., Bogers A.J., Piazza N., Kappetein A.P. Aortic stenosis in the elderly: disease prevalence and number of candidates for transcatheter aortic valve replacement: a meta-analysis and modeling study. *J Am Coll Cardiol.* 2013;62(11):1002-12. PMID: 23727214. <https://doi.org/10.1016/j.jacc.2013.05.015>
3. Jung B., Delgado V., Rosenhek R., Price S., Prendergast B., Wendler O., De Bonis M., Tribouilloy C., Evangelista A., Bogachev-Prokophiev A., Apor A., Ince H., Laroche C., Popescu B.A., Piérard L., Haude M., Hindricks G., Ruschitzka F., Windecker S., Bax J.J., Maggioni A., Vahanian A.; EORP VHD II Investigators. Contemporary Presentation and Management of Valvular Heart Disease: The EURObservational Research Programme Valvular Heart Disease II Survey. *Circulation.* 2019;140(14):1156-1169. PMID: 31510787. <https://doi.org/10.1161/CIRCULATIONAHA.119.041080>
4. Baumgartner H., Hung J., Bermejo J., Chambers J.B., Edvardsen T., Goldstein S., Lancellotti P., LeFebvre M., Miller F. Jr, Otto C.M. Recommendations on the Echocardiographic Assessment of Aortic Valve Stenosis: A Focused Update from the European Association of Cardiovascular Imaging and the American Society of Echocardiography. *J Am Soc Echocardiogr.* 2017;30(4):372-392. PMID: 28385280. <https://doi.org/10.1016/j.echo.2017.02.009>
5. Danielsen R., Aspelund T., Harris T.B., Gudnason V. The prevalence of aortic stenosis in the elderly in Iceland and predictions for the coming decades: the AGES-Reykjavik study. *Int J Cardiol.* 2014;176(3):916-922. PMID: 25171970; PMCID: PMC4742571. <https://doi.org/10.1016/j.ijcard.2014.08.053>
6. Praz F., Borger M.A., Lanz J., Marin-Cuartas M., Abreu A., Adamo M., Ajmone Marsan N., Barili F., Bonaros N., Cosyns B., De Paulis R., Gamra H., Jahangiri M., Jeppsson A., Klautz R.J.M., Mores B., Pérez-David E., Pöss J., Prendergast B.D., Rocca B., Rossello X., Suzuki M., Thiele H., Tribouilloy C.M., Wojakowski W.; ESC/EACTS Scientific Document Group. 2025 ESC/EACTS Guidelines for the management of valvular heart disease. *Eur Heart J.* 2025;46(44):4635-4736. PMID: 40878295. <https://doi.org/10.1093/eurheartj/ehaf194>
7. Galderisi M., Cosyns B., Edvardsen T., Cardim N., Delgado V., Di Salvo G., Donal E., Sade L.E., Ernande L., Garbi M., Grapsa J., Hagendorff A., Kamp O., Magne J., Santoro C., Stefanidis A., Lancellotti P., Popescu B., Habib G.; 2016–2018 EACVI Scientific Documents Committee. Standardization of adult transthoracic echocardiography reporting in agreement with recent chamber quantification, diastolic function, and heart valve disease recommendations: an expert consensus document of the European Association of Cardiovascular Imaging. *Eur Heart J Cardiovasc Imaging.* 2017;18(12):1301-1310. PMID: 29045589. <https://doi.org/10.1093/ehjci/jex244>
8. Gherbesi E., Gianstefani S., Angeli F., Ryabenko K., Bergamaschi L., Armillotta M., Guerra E., Tuttolomondo D., Gaibazzi N., Squeri A., Spaziani C., Pizzi C., Carugo S. Myocardial strain of the left ventricle by speckle tracking echocardiography: From physics to clinical practice. *Echocardiography.* 2024;41(1):e15753. PMID: 38284665. <https://doi.org/10.1111/echo.15753>
9. Magne J., Cosyns B., Popescu B.A., Carstensen H.G., Dahl J., Desai M.Y., Kearney L., Lancellotti P., Marwick T.H., Sato K., Takeuchi M., Zito C., Casalta A.C., Mohty D., Piérard L., Habib G., Donal E. Distribution and Prognostic Significance of Left Ventricular Global Longitudinal Strain in Asymptomatic Significant Aortic Stenosis: An Individual Participant Data Meta-Analysis. *JACC Cardiovasc Imaging.* 2019;12(1):84-92. PMID: 30621997. <https://doi.org/10.1016/j.jcmg.2018.11.005>
10. Liao H., Yang S., Yu S., Hu X., Meng X., Wu K. Prognostic Value of Left Ventricular Global Longitudinal Strain for Major Adverse Cardiovascular Events in Patients with Aortic Valve Disease: A Meta-Analysis. *Cardiology.* 2024;149(3):277-285. PMID: 38301616. <https://doi.org/10.1159/000536331>
11. Povlsen J.A., Rasmussen V.G., Vase H., Jensen K.T., Terkelsen C.J., Christiansen E.H., Tang M., Pedersen A.L.D., Poulsen S.H. Distribution and prognostic value of left ventricular global longitudinal strain in elderly patients with symptomatic

- severe aortic stenosis undergoing transcatheter aortic valve replacement. *BMC Cardiovasc Disord.* 2020;20(1):506. PMID: 33267772; PMCID: PMC7709407. <https://doi.org/10.1186/s12872-020-01791-9>
12. Roemer S., Jaglan A., Santos D., Umland M., Jain R., Tajik A.J., Khandheria B.K. The Utility of Myocardial Work in Clinical Practice. *J Am Soc Echocardiogr.* 2021;34(8):807-818. PMID: 33895250. <https://doi.org/10.1016/j.echo.2021.04.013>
 13. Fortuni F., Butcher S.C., van der Kley F., Lustosa R.P., Karalis I., de Weger A., Priori S.G., van der Bijl P., Bax J.J., Delgado V., Ajmone Marsan N. Left Ventricular Myocardial Work in Patients with Severe Aortic Stenosis. *J Am Soc Echocardiogr.* 2021;34(3):257-266. PMID: 33181281. <https://doi.org/10.1016/j.echo.2020.10.014>
 14. Ren B., Spitzer E., Geleijnse M.L., Zijlstra F., de Jaegere P.P.T., Van Mieghem N.M., Tijssen J.G. Right ventricular systolic function in patients undergoing transcatheter aortic valve implantation: A systematic review and meta-analysis. *Int J Cardiol.* 2018;257:40-45. PMID: 29422266. <https://doi.org/10.1016/j.ijcard.2018.01.117>
 15. Fan J., Liu X., Yu L., Sun Y., Jaiswal S., Zhu Q., Chen H., He Y., Wang L., Ren K., Wang J. Impact of tricuspid regurgitation and right ventricular dysfunction on outcomes after transcatheter aortic valve replacement: A systematic review and meta-analysis. *Clin Cardiol.* 2019;42(1):206-212. PMID: 30515860; PMCID: PMC6436507. <https://doi.org/10.1002/clc.23126>
 16. Galli E., Guirette Y., Feneon D., Daudin M., Fournet M., Leguerrier A., Flecher E., Mabo P., Donal E. Prevalence and prognostic value of right ventricular dysfunction in severe aortic stenosis. *Eur Heart J Cardiovasc Imaging.* 2015;16(5):531-8. PMID: 25539785. <https://doi.org/10.1093/ehjci/jeu290>
 17. Hernandez-Suarez D.F., López-Candales A. Subclinical Right Ventricular Dysfunction in Patients with Severe Aortic Stenosis: A Retrospective Case Series. *Cardiol Ther.* 2017;6(1):151-155. PMID: 28124310; PMCID: PMC5446817. <https://doi.org/10.1007/s40119-017-0084-8>
 18. Pardo Sanz A., Santoro C., Hinojar R., Salido L., Rajjoub E.A., Monteagudo J.M., García A., González A., Hernández-Antolín R., Sánchez Recalde Á., Zamorano J.L., Fernández-Golfín C. Right ventricle assessment in patients with severe aortic stenosis undergoing transcatheter aortic valve implantation. *Echocardiography.* 2020;37(4):586-591. PMID: 32212399. <https://doi.org/10.1111/echo.14633>
 19. Мацкеплишвили С.Т., Саидова М.А., Мироненко М.Ю., Сафарова А.Ф., Павлюкова Е.Н., Бощенко А.А., Ярославская Е.И., Ахунова С.Ю., Скидан В.И., Иртыга О.Б., Козленок А.В., Федорова Д.Н. Выполнение стандартной трансторакальной эхокардиографии. Методические рекомендации 2024. *Российский кардиологический журнал.* 2025;30(2):6271. <https://doi.org/10.15829/1560-4071-2025-6271>
Matskeplishvili S.T., Saidova M.A., Mironenko M.Yu., Safarova A.F., Pavlyukova E.N., Boshchenko A.A., Yaroslavskaya E.I., Akhunova S.Yu., Skidan V.I., Irtyuga O.B., Kozlenok A.V., Fedorova D.N. Standard transthoracic echocardiography. Guidelines 2024. *Russian Journal of Cardiology.* 2025;30(2):6271. (In Russ.) <https://doi.org/10.15829/1560-4071-2025-6271>
 20. Скидан В.И., Томас Дж.Д., Бондарь В.Ю. Сравнительный анализ использования специализированных программ трехмерной эхокардиографии в режиме реального времени для оценки геометрии полости и функции правого желудочка у больных с острой декомпенсированной сердечной недостаточностью и имплантированными внутрисердечными устройствами. *Патология кровообращения и кардиохирургия.* 2014;18(1):52-57. <http://dx.doi.org/10.21688/168134722014-1-52-57>
Skidan V.I., Thomas J.D., Bondar V.Yu. Assessment of right ventricular geometry and function from real time three-dimensional echocardiography in patients with acute decompensated heart failure and implanted intracardiac devices. *Patologiya krovoobrashcheniya i kardiokhirurgiya = Circulation Pathology and Cardiac Surgery.* 2014;18(1):52-57. (In Russ.) <http://dx.doi.org/10.21688/1681-3472-2014-1-52-57>
 21. Синельников Ю.С., Орехова Е.Н., Осетрова О.А., Большова О.А. Эхокардиографическая оценка диастолической функции правого желудочка у пациентов с многососудистым поражением коронарных артерий. *Патология кровообращения и кардиохирургия.* 2017;21(2):68-76. <http://dx.doi.org/10.21688-1681-3472-2017-2-68-76>
Sinelnikov Yu.S., Orekhova E.N., Osetrova O.A., Bolyshova O.A. Echocardiographic assessment of right ventricular diastolic function in patients with multivessel coronary artery disease. *Patologiya krovoobrashcheniya i kardiokhirurgiya = Circulation Pathology and Cardiac Surgery.* 2017;21(2):68-76. (In Russ.) <http://dx.doi.org/10.21688-1681-3472-2017-2-68-76>
 22. Addetia K., Miyoshi T., Amuthan V., Citro R., Daimon M., Gutierrez Fajardo P., Kasliwal R.R., Kirkpatrick J.N., Monaghan M.J., Muraru D., Ogunyankin K.O., Park S.W., Ronderos R.E., Sadehpour A., Scalia G.M., Takeuchi M., Tsang W., Tucay E.S., Tude Rodrigues A.C., Zhang Y., Singulane C.C., Hitschrich N., Blankenhagen M., Deggel M., Schreckenber M., Mor-Avi V., Asch F.M., Lang R.M.; WASE Investigators. Normal Values of Three-Dimensional Right Ventricular Size and Function Measurements: Results of the World Alliance Societies of Echocardiography Study. *J Am Soc Echocardiogr.* 2023;36(8):858-866.e1. PMID: 37085129. <https://doi.org/10.1016/j.echo.2023.04.011>
 23. Badano L.P., Muraru D., Parati G., Haugaa K., Voigt J.U. How to do right ventricular strain. *Eur Heart J Cardiovasc Imaging.* 2020;21(8):825-827. PMID: 32504092. <https://doi.org/10.1093/ehjci/jeaa126>
 24. Hameed A., Condliffe R., Swift A.J., Alabed S., Kiely D.G., Charalampopoulos A. Assessment of Right Ventricular Function—a State of the Art. *Curr Heart Fail Rep.* 2023;20(3):194-207. PMID: 37271771; PMCID: PMC10256637. <https://doi.org/10.1007/s11897-023-00600-6>
 25. Trimarchi G., Carerj S., Di Bella G., Manganaro R., Pizzino F., Restelli D., Pelaggi G., Lofrumento F., Licordari R., Taverna G., Paradosi U., de Gregorio C., Micari A., Di Giannuario G., Zito C. Clinical Applications of Myocardial Work in Echocardiography: A Comprehensive Review. *J Cardiovasc Echogr.* 2024;34(3):99-113. PMID: 39444390; PMCID: PMC11495308. https://doi.org/10.4103/jcecho.jcecho_37_24
 26. Ilardi F., D'Andrea A., D'Ascenzi F., Bandera F., Benfari G., Esposito R., Malagoli A., Mandoli G.E., Santoro C., Russo V., Crisci M., Esposito G., Cameli M.; On Behalf Of The Working Group Of Echocardiography Of The Italian Society Of Cardiology Sic. Myocardial Work by Echocardiography: Principles and Applications in Clinical Practice. *J Clin Med.* 2021;10(19):4521. PMID: 34640537; PMCID: PMC8509621. <https://doi.org/10.3390/jcm10194521>
 27. Wu H.W., Fortuni F., Butcher S.C., van der Kley F., de Weger A., Delgado V., Jukema J.W., Bax J.J., Ajmone Marsan N. Prognostic value of left ventricular myocardial work indices in patients with severe aortic stenosis undergoing transcatheter aortic valve replacement. *Eur Heart J Cardiovasc Imaging.* 2023;24(12):1682-

1689. PMID: 37409583; PMCID: PMC10667033. <https://doi.org/10.1093/ehjci/jead157>
28. Russell K., Eriksen M., Aaberge L., Wilhelmssen N., Skulstad H., Remme E.W., Haugaa K.H., Opdahl A., Fjeld J.G., Gjesdal O., Edvardsen T., Smiseth O.A. A novel clinical method for quantification of regional left ventricular pressure-strain loop area: a non-invasive index of myocardial work. *Eur Heart J.* 2012;33(6):724-33. PMID: 22315346; PMCID: PMC3303715. <https://doi.org/10.1093/eurheartj/ehs016>
29. Polewczyk A., Pietrzyk E., Polewczyk M., Jarek D., Dudek D. Usefulness of Echocardiographic Parameters of Myocardial Work in Patients with Aortic Stenosis Undergoing Transcatheter Aortic Valve Implantation. *J Clin Med.* 2025;14(2):512. PMID: 39860518; PMCID: PMC11766197. <https://doi.org/10.3390/jcm14020512>
30. Noguchi Y., Kawasoe S., Miyata M., Horizoe Y., Hamamoto Y., Tajima A., Uchiyama Y., Kubozono T., Nakamura Y., Kobayashi S., Yunoue S., Ozono N., Nakashima K., Higashi F., Ohishi M. Characteristics of Myocardial Work Indices in Patients with Aortic Valve Stenosis. *Int Heart J.* 2025;66(5):754-762. PMID: 41034020. <https://doi.org/10.1536/ihj.25-050>
31. Jain R., Bajwa T., Roemer S., Huisheree H., Allaqaband S.Q., Kroboth S., Perez Moreno A.C., Tajik A.J., Khandheria B.K. Myocardial work assessment in severe aortic stenosis undergoing transcatheter aortic valve replacement. *Eur Heart J Cardiovasc Imaging.* 2021;22(6):715-721. PMID: 33106854. <https://doi.org/10.1093/ehjci/jeaa257>
32. Ratwatte S., Coelho B., Ng M.K., Celermajer D.S. Impact of Transcatheter Aortic Valve Implantation on Right Ventricular Function. *Heart Lung Circ.* 2025;34(5):456-466. PMID: 39971704. <https://doi.org/10.1016/j.hlc.2024.11.017>
33. Winkler N. E., Anwer S., Reeve K. A., Michel J. M., Kasel, A. M., Tanner F. C. Right vs. left ventricular longitudinal strain for mortality prediction after transcatheter aortic valve implantation. *Frontiers in cardiovascular medicine*, 2023;10. PMID: 37745112; PMCID: PMC10513390. <https://doi.org/10.3389/fcvm.2023.1252872>
34. Asami M., Stortecky S., Praz F., Lanz J., Räber L., Franzoni A., Piccolo R., Siontis G.C.M., Heg D., Valgimigli M., Wenaweser P., Roost E., Windecker S., Pilgrim T. Prognostic Value of Right Ventricular Dysfunction on Clinical Outcomes After Transcatheter Aortic Valve Replacement. *JACC Cardiovasc Imaging.* 2019;12(4):577-587. PMID: 29454762. <https://doi.org/10.1016/j.jcmg.2017.12.015>
35. Ren B., Spitzer E., Geleijnse M.L., Zijlstra F., de Jaegere P.P.T., Van Mieghem N.M., Tijssen J.G. Right ventricular systolic function in patients undergoing transcatheter aortic valve implantation: A systematic review and meta-analysis. *Int J Cardiol.* 2018;257:40-45. PMID: 29422266. <https://doi.org/10.1016/j.ijcard.2018.01.117>
36. Durand E., Sacri C., Levesque T., Tron C., Barbe T., Hemery T., Burdeau J., Dacher J.N., Eltchaninoff H. Incidence, Predictive Factors, and Prognostic Impact of Right Ventricular Dysfunction Before Transcatheter Aortic Valve Implantation. *Am J Cardiol.* 2021;161:63-69. PMID: 34794620. <https://doi.org/10.1016/j.amjcard.2021.08.068>
37. Mendes L.F., Brandão M., Diaz S.O., Almeida M.C., Barros A.S., Saraiva F., Ribeiro J., Rodrigues A., Braga P., Carvalho R.F., Sampaio F. Impact of right ventricle-pulmonary artery coupling in patients undergoing transcatheter aortic valve implantation. *Int J Cardiovasc Imaging.* 2024;40(8):1745-1753. PMID: 38940965; PMCID: PMC11401781. <https://doi.org/10.1007/s10554024-03165-0>
38. Holmberg E., Tamás É., Nylander E., Engvall J., Granfeldt H. Right ventricular function in severe aortic stenosis assessed by echocardiography and MRI. *Clin Physiol Funct Imaging.* 2024;44(3):211-219. PMID: 37984438. <https://doi.org/10.1111/cpf.12867>
39. Vollema E.M., Amanullah M.R., Prihadi E.A., Ng A.C.T., van der Bijl P., Sin Y.K., Ajmone Marsan N., Ding Z.P., Généreux P., Leon M.B., Ewe S.H., Delgado V., Bax J.J. Incremental value of left ventricular global longitudinal strain in a newly proposed staging classification based on cardiac damage in patients with severe aortic stenosis. *Eur Heart J Cardiovasc Imaging.* 2020;21(11):1248-1258. PMID: 32851408. <https://doi.org/10.1093/ehjci/jeaa220>
40. Friedberg M.K. Right-Left Ventricular Interactions in RV Afterload and Preload. *Right Ventricular Physiology, Adaptation and Failure in Congenital and Acquired Heart Disease.* Friedberg M., Redington A. (eds). Springer, 2018, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-319-67096-6_6
41. Buckberg G., Hoffman J.I. Right ventricular architecture responsible for mechanical performance: unifying role of ventricular septum. *J Thorac Cardiovasc Surg.* 2014;148(6):3166-71.e1-4. PMID: 24973008. <https://doi.org/10.1016/j.jtcvs.2014.05.044>