



Бекметова Ф.М. ✉, Фозилов Х.Г., Бекбулатова Р.Ш., Хошимов Ш.У., Каримов Б.С.
Республиканский специализированный научно-практический медицинский центр
кардиологии, Ташкент, Узбекистан

Этапное ремоделирование камер сердца у пациентов с хронической сердечной недостаточностью ишемического генеза по данным спекл-трекинг эхокардиографии

Конфликт интересов: не заявлен.

Вклад авторов: Бекметова Ф.М. – идея, концепция и дизайн исследования, статистическая обработка материала, литературный обзор, подготовка и структурирование статьи, формирование результатов и выводов; Фозилов Х.Г. – формирование задач исследования, редактирование текста статьи; Бекбулатова Р.Ш. – набор материала, анализ данных; Хошимов Ш.У. – проверка гипотез, анализ данных, набор материала; Каримов Б.С. – редактирование.

Финансирование: исследование выполнено без целевого финансирования со стороны коммерческих или государственных структур.

Этическое заявление: исследование выполнено в соответствии со стандартами надлежащей клинической практики (Good Clinical Practice) и принципами Хельсинкской декларации.

Информированное согласие: на проведение исследования и анонимную публикацию результатов у всех пациентов получено письменное информированное согласие.

Подана: 16.06.2025

Принята: 06.10.2025

Контакты: bekmetova@rambler.ru

Резюме

Введение. Современные представления о патогенезе хронической сердечной недостаточности (ХСН) акцентируют внимание не только на систолической дисфункции левого желудочка (ЛЖ), но и на последовательных изменениях геометрии, механики и деформационных характеристик других камер сердца. Комплексный анализ деформационных параметров ЛЖ, левого предсердия (ЛП) и правого желудочка (ПЖ) позволяет получить более полное представление о стадиях ремоделирования и функциональных изменениях при ХСН.

Цель. Оценить особенности глобального поэтапного ремоделирования камер сердца у пациентов с хронической сердечной недостаточностью ишемического генеза в зависимости от степени снижения фракции выброса левого желудочка (ФВ ЛЖ) на основании данных двухмерной эхокардиографии с анализом деформационных показателей миокарда.

Материалы и методы. В исследование включены 96 пациентов с установленным диагнозом ХСН согласно современным критериям. Пациенты распределены на 3 группы в зависимости от величины ФВ ЛЖ: I группа – с ФВ ЛЖ >50% (n=46), пациенты с сохраненной систолической функцией; II группа – с ФВ ЛЖ 40–49% (n=24), пациенты с умеренным снижением систолической функции; III группа – с ФВ ЛЖ <40% (n=26), пациенты с выраженным снижением систолической функции. Глобальная продольная деформация (GLS) ЛЖ была значительно ниже у пациентов с пониженной ФВ.



Результаты. В группе с ФВ >50% среднее значение GLS составило $17,0 \pm 2,8\%$, тогда как при ФВ 40–49% и <40% значения снижались до $12,6 \pm 2,1\%$ и $9,4 \pm 2,2\%$ соответственно ($p < 0,001$). Аналогичная тенденция наблюдалась для GLS, измеренного в 4-, 2- и 3-камерных проекциях. Данные свидетельствуют о высокой чувствительности GLS к снижению сократительной функции миокарда и подтверждают его клиническую значимость в оценке функционального состояния ЛЖ. Исследование функций ЛП с использованием двухмерной спекл-трекинг ЭхоКГ в резервуарной, кондуитной и сократительной фазах также демонстрирует достоверное снижение абсолютных показателей: LASr (резервуарная фаза) – $35,5 \pm 8,3\%$ (ФВ >50%) → $17,8 \pm 11,2\%$ (ФВ <40%), $p < 0,001$; LASct (кондуитная) – $17,6 \pm 5,4\%$ → $8,8 \pm 6,5\%$, $p < 0,001$; LAScd (сократительная) – $18,7 \pm 5,9\%$ → $8,7 \pm 4,6\%$, $p < 0,001$. У пациентов с ФВ ЛЖ выше 50% показатели продольной деформации ПЖ были наивысшими (RV FWLS – $21,3 \pm 4,0\%$, RV GLS – $18,1 \pm 3,2\%$), тогда как при ФВ 40–49% они снижались (соответственно $19,9 \pm 2,8\%$ и $16,0 \pm 2,7\%$), а при ФВ ниже 40% отмечалось наиболее выраженное снижение (RV FWLS – $14,0 \pm 4,1\%$, RV GLS – $10,5 \pm 3,1\%$) с достоверной разницей между группами ($p = 0,001$).

Заключение. У пациентов с ХСН ишемического генеза наблюдается поэтапное ремоделирование всех камер сердца: ЛЖ, ЛП и ПЖ – с нарастанием выраженности функциональных нарушений по мере снижения фракции выброса. Глобальный продольный стрейн левого желудочка, а также деформационные параметры левого предсердия (LASr, LASct, LAScd) и правого желудочка (RV FWLS, RV GLS) демонстрируют высокую чувствительность к изменениям сердечной гемодинамики и могут служить ранними маркерами прогрессирования ХСН. Спекл-трекинг эхокардиография представляет собой информативный неинвазивный метод оценки субклинической дисфункции миокарда и может быть полезна для стратификации риска и мониторинга эффективности терапии у пациентов с ХСН различной степени тяжести.

Ключевые слова: хроническая сердечная недостаточность, фракция выброса, глобальная продольная деформация, спекл-трекинг эхокардиография, ремоделирование камер сердца

Bekmetova F. ✉, Fozilov Kh., Bekbulatova R., Khoshimov Sh., Karimov B.
Republican Specialized Scientific and Practical Medical Center of Cardiology, Tashkent,
Uzbekistan

Stepwise Remodeling of Cardiac Chambers in Patients with Chronic Ischemic Heart Failure Based on Speckle-Tracking Echocardiography Data

Conflict of interest: nothing to declare.

Authors' contribution: Bekmetova F. – idea, study concept and design, statistical data processing, literature review, article drafting and structuring, results and conclusions generating; Fozilov Kh. – research objectives formulating, text editing; Bekbulatova R. – material collection, data analysis; Khoshimov Sh. – hypothesis verification, data analysis, material collection; Karimov B. – editing.

Funding: the study was conducted without targeted funding from commercial or government sources.

Ethics statement: the study was conducted in accordance with Good Clinical Practice and the principles of the Declaration of Helsinki.

Informed consent: written informed consent for participation in the study and permission for anonymous publication of results was obtained from all patients.

Submitted: 16.06.2025

Accepted: 06.10.2025

Contacts: bekmetova@rambler.ru

Abstract

Introduction. Modern concepts of the pathogenesis of chronic heart failure (CHF) emphasize not only systolic dysfunction of the left ventricle but also sequential changes in the geometry, mechanics, and deformation characteristics of other heart chambers. A comprehensive analysis of deformation parameters of the left ventricle (LV), left atrium (LA), and right ventricle (RV) allows for a more complete understanding of remodeling stages and functional changes in CHF.

Purpose. To evaluate the features of global stepwise remodeling of the heart chambers in patients with ischemic chronic heart failure depending on the degree of left ventricular ejection fraction (LV EF) reduction, based on two-dimensional echocardiography data with analysis of myocardial deformation parameters.

Materials and methods. The study included 96 patients diagnosed with chronic heart failure according to modern criteria. All patients were divided into three groups based on LV EF values: Group I included patients with LV EF >50% (n=46), with preserved systolic function; Group II included patients with LV EF 40–49% (n=24), with moderately reduced systolic function; Group III included patients with LV EF <40% (n=26), with severely reduced systolic function. Global longitudinal strain (GLS) of the left ventricle was significantly lower in patients with reduced ejection fraction.

Results. In the group with LVEF >50%, the mean GLS was $17.0 \pm 2.8\%$, whereas in the groups with LVEF 40–49% and <40% the values decreased to $12.6 \pm 2.1\%$ and $9.4 \pm 2.2\%$, respectively ($p < 0.001$). A similar trend was observed for GLS measured in 4-, 2-, and 3-chamber views. These data indicate a high sensitivity of GLS to reductions in myocardial contractile function and confirm its clinical significance in assessing the functional status of the left ventricle. The assessment of left atrial function using two-dimensional speckle-tracking echocardiography in reservoir, conduit, and contractile phases also showed significant reductions in absolute values: LASr (reservoir phase) reduced from $35.5 \pm 8.3\%$

(LV EF >50%) to $17.8 \pm 11.2\%$ (LV EF <40%), $p < 0.001$; LASct (conduit) from $17.6 \pm 5.4\%$ to $8.8 \pm 6.5\%$, $p < 0.001$; LAScd (contractile) from $18.7 \pm 5.9\%$ to $8.7 \pm 4.6\%$, $p < 0.001$. The patients with LV EF above 50% had the highest values of right ventricular longitudinal deformation (RV FWLS of $21.3 \pm 4.0\%$, RV GLS of $18.1 \pm 3.2\%$), while in the LVEF 40–49% group ($19.9 \pm 2.8\%$ and $16.0 \pm 2.7\%$, respectively) they decreased, and were most reduced in the group with LVEF below 40% (RV FWLS of $14.0 \pm 4.1\%$, RV GLS of $10.5 \pm 3.1\%$), with a significant difference between groups ($p = 0.001$).

Conclusion. Patients with ischemic CHF exhibit stepwise remodeling of all heart chambers, LV, LA, and RV, with increasing severity of functional impairments as ejection fraction decreases. Global longitudinal strain of the left ventricle, as well as deformation parameters of the left atrium (LASr, LASct, and LAScd) and right ventricle (RV FWLS, and RV GLS), demonstrate high sensitivity to changes in cardiac hemodynamics and may serve as early markers of CHF progression. Speckle-tracking echocardiography is an informative noninvasive method for assessing subclinical myocardial dysfunction and can be useful for risk stratification and therapeutic efficacy monitoring in patients with CHF of varying severity.

Keywords: chronic heart failure, ejection fraction, global longitudinal strain, speckle-tracking echocardiography, cardiac chamber remodeling

■ ВВЕДЕНИЕ

Хроническая сердечная недостаточность (ХСН) остается одной из ведущих причин заболеваемости, инвалидизации и смертности во всем мире [1, 2]. Несмотря на существенные достижения в области фармакотерапии, совершенствование имплантируемых устройств, а также стремительное развитие технологий визуализации, течение заболевания все равно прогрессирует, а пятилетняя выживаемость сопоставима с таковой при злокачественных новообразованиях [3]. Наиболее частой причиной формирования ХСН в развитых странах остается ишемическая болезнь сердца, обуславливающая до 60–70% случаев дисфункции миокарда [4, 5]. Современные представления о патогенезе ХСН акцентируют внимание не только на систолической дисфункции левого желудочка (ЛЖ), но и на последовательных изменениях геометрии, механики и деформационных характеристик других камер сердца – прежде всего левого предсердия (ЛП) и правого желудочка (ПЖ), а также на системных метаболических, воспалительных и нейрогуморальных нарушениях, сопровождающих декомпенсацию сердечной деятельности [6–8].

В связи с этим актуальной задачей современной кардиологии является раннее выявление структурно-функциональных изменений миокарда, особенно у пациентов с ишемической сердечной недостаточностью, с помощью высокочувствительных методов визуализации, таких как эхокардиографическая оценка деформации (strain-анализ) [1, 6, 9]. Этот метод позволяет выявить субклинические признаки ремоделирования миокарда, которые предшествуют выраженному снижению фракции выброса левого желудочка (ФВ ЛЖ), а также уточнить взаимосвязи между функцией различных камер сердца и системными клиническими проявлениями заболевания [7, 10]. Таким образом, strain-анализ служит важным инструментом для ранней диагностики, стратификации риска и мониторинга эффективности терапии при ХСН.

Особое внимание уделяется функции ЛП, которое играет центральную роль в оптимальном наполнении ЛЖ, особенно при наличии диастолической дисфункции. Изменения деформации ЛП отражают повышение давления наполнения и степень ремоделирования, что имеет большое прогностическое значение. Таким образом, комплексный анализ деформационных параметров ЛЖ, ЛП и ПЖ позволяет получить более полное представление о стадиях ремоделирования и функциональных изменениях при ХСН.

■ ЦЕЛЬ ИССЛЕДОВАНИЯ

Оценить особенности глобального поэтапного ремоделирования камер сердца у пациентов с хронической сердечной недостаточностью ишемического генеза в зависимости от степени снижения фракции выброса левого желудочка на основании данных двумерной эхокардиографии с анализом деформационных показателей миокарда.

■ МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

В исследование включены 96 пациентов с установленным диагнозом ХСН согласно современным критериям. Пациенты распределены по 3 группам в зависимости от величины ФВ ЛЖ: I группа – с ФВ ЛЖ $>50\%$ ($n=46$), пациенты с сохраненной систолической функцией; II группа – с ФВ ЛЖ $40-49\%$ ($n=24$), пациенты с умеренным снижением систолической функции; III группа – с ФВ ЛЖ $<40\%$ ($n=26$), пациенты с выраженным снижением систолической функции.

Из лабораторных данных оценивались: уровень креатинина, расчетная СКФ по формуле CKD-EPI; глюкоза крови, липидный профиль; гемоглобин, натрийуретический пептид (NT-proBNP); С-реактивный белок (СРБ), мочевиная кислота. Медикаментозная терапия проводилась в соответствии с действующими клиническими рекомендациями по ведению пациентов с ХСН (ESC 2021). Пациенты получали стандартную базисную терапию, включающую: β -блокаторы, ингибиторы АПФ/БРА, антагонисты минералокортикоидных рецепторов, диуретики, сердечные гликозиды, SGLT2-ингибиторы.

Эхокардиографическое исследование

Исследование проводилось с использованием аппарата экспертного класса PHILIPS Affiniti 70 с последующей обработкой изображений (с использованием интегрированной программы постобработки данных QLAB, версия программного обеспечения Release 9.0.x). Оценивались: геометрия камер сердца (размеры ЛП, ЛЖ, диаметр аорты, толщина межжелудочковой перегородки и задней стенки ЛЖ); ФВ ЛЖ методом Симпсона (двухплоскостной анализ); параметры диастолической функции: митральный поток E, A, соотношение E/A, скорость расслабления миокарда e' (латеральная и септальная стенки), E/ e' , объем и индекс объема ЛП; скорость трикуспидальной регургитации как один из критериев оценки давления наполнения ЛЖ (по рекомендациям ASE/EACVI, 2016); определение степени диастолической дисфункции (ДДЛЖ) согласно критериям ASE/EACVI (2016); деформационные показатели: глобальный продольный стрейн ЛЖ (GLS), стрейн свободной стенки ПЖ, а также 3 компонента деформации ЛП: резервуарная функция (LASr), кондуктная функция (LAScd), сократительная функция (LASct), RV FWLS (Right Ventricular Free Wall



Longitudinal Strain) – глобальная продольная деформация свободной стенки ПЖ, RV GLS (4CH) (Right Ventricular Global Longitudinal Strain (4-chamber view)) – глобальная продольная деформация ПЖ в 4-камерной позиции.

Критерии включения

В исследование были включены пациенты в возрасте от 18 до 80 лет с клинически установленным диагнозом ХСН I–IV функционального класса по классификации NYHA ишемического генеза, подтвержденного наличием ишемической болезни сердца по данным анамнеза, ЭКГ, эхокардиографии и коронароангиографии. Дополнительными критериями включения являлись: подтвержденная эхокардиографически ФВ ЛЖ, измеренная по модификации Симпсона (biplane Simpson), наличие технической возможности проведения качественного спекл-трекинг анализа, а также получение информированного письменного согласия пациента на участие в исследовании.

Критерии исключения

Острые коронарные события (инфаркт миокарда, нестабильная стенокардия) менее чем за 3 месяца до включения; значимые клапанные пороки сердца, требующие хирургической коррекции; постинфарктный кардиосклероз с рубцовыми изменениями, подтвержденный по данным ЭхоКГ и КАГ; фибрилляция предсердий или другие аритмии, затрудняющие анализ деформации; хронические заболевания легких (ХОБЛ III–IV степени, легочная гипертензия II–III группы); хроническая болезнь почек с СКФ <30 мл/мин/1,73 м²; онкологические, аутоиммунные или другие системные заболевания; недостаточное качество эхокардиографического изображения (низкая визуализация эндокарда, артефакты изображения).

Для сравнения показателей использовался однофакторный дисперсионный анализ (ANOVA) с последующим множественным сравнением и критерий χ^2 для категориальных данных. Статистическая значимость принималась при $p < 0,05$.

■ РЕЗУЛЬТАТЫ

У пациентов с ХСН сравнительный анализ клинических и гемодинамических показателей в зависимости от уровня ФВ ЛЖ показал ряд достоверных различий. Необходимо отметить, что средний возраст и пол пациентов существенно не отличались. Частота сердечных сокращений (ЧСС) достоверно увеличивалась при снижении фракции выброса: от $71,0 \pm 11,9$ удара в минуту при ФВ >50% до $81,3 \pm 13,5$ удара в минуту при ФВ <40% ($P=0,001$), что отражает активацию симпатической нервной системы (табл. 1).

Систолическое артериальное давление (САД) снижалось при ухудшении насосной функции миокарда: с $134,9 \pm 18,2$ мм рт. ст. в группе с сохраненной ФВ до $124,4 \pm 16,1$ мм рт. ст. при ФВ <40% ($p=0,011$), при этом показатели диастолического артериального давления (ДАД) статистически значимо не отличались между группами.

Частота сахарного диабета (СД) 2-го типа возрастала по мере снижения ФВ (с 24,8% до 57,7%, $p=0,000$), что свидетельствует о существовании значимой обратной зависимости между функцией ЛЖ и распространенностью СД 2-го типа. Иными словами, по мере ухудшения насосной функции сердца увеличивается распространенность СД 2-го типа, что может указывать на общие патофизиологические механизмы или взаимноеотягощающее влияние данных состояний.

Таблица 1
Сравнительная характеристика клинических, гемодинамических и лабораторных показателей у пациентов с ХСН в группах с разным уровнем фракции выброса левого желудочка
Table 1
Comparative analysis of clinical, hemodynamic, and laboratory parameters in patients with chronic heart failure across groups with different levels of left ventricular ejection fraction

Показатель	ФВ >50%, n=46	ФВ 40–49%, n=24	ФВ <40%, n=26	F, χ^2	P-value
Возраст, лет	61,4±10,0	64,6±8,1	61,2±9,5	F=1,162	0,315
Пол, м/ж, %	56/44	67/33	77/23	$\chi^2=4,371$	0,112
ЧСС, уд/мин	71,0±11,9	78,4±14,8	81,3±13,5	F=9,603	0,001
САД, мм рт. ст.	134,9±18,2	127,9±19,6	124,4±16,1	F=4,576	0,011
ДАД, мм рт. ст.	82,2±9,3	80,0±9,8	81,3±9,5	F=0,602	0,549
Длительность ИБС, лет	8,1±5,2	8,3±5,5	7,9±4,2	F=0,038	0,963
Гипертония, %	86	75	73	$\chi^2=3,833$	0,147
СД 2-го типа, %	24,8	54,2	57,7	$\chi^2=16,141$	0,000

Примечание: данные представлены в виде М±SD (среднее значение ± стандартное отклонение) при нормальном распределении либо как медиана (25-й – 75-й перцентили) при ненормальном распределении. F – значение критерия ANOVA (дисперсионного анализа), χ^2 – значение критерия χ -квадрат, p – уровень статистической значимости. ЧСС – частота сердечных сокращений; САД – систолическое артериальное давление; ДАД – диастолическое артериальное давление; ИБС – ишемическая болезнь сердца; СД – сахарный диабет.

В группе пациентов с более выраженной систолической дисфункцией отмечено статистически значимое снижение уровня липопротеидов высокой плотности (ЛПВП) с 43,6±11,1 до 37,5±8,1 мг/дл (p=0,013), а также повышение концентрации глюкозы в крови с медианы 6,3 (5,0–6,6) до 7,9 (5,6–9,1) ммоль/л (p=0,042) (табл. 2).

Таблица 2
Сравнительная характеристика биохимических и лабораторных показателей у пациентов с хронической сердечной недостаточностью по уровню фракции выброса ЛЖ
Table 2
Comparative analysis of biochemical and laboratory parameters in patients with chronic heart failure according to left ventricular ejection fraction levels

Показатель	ФВ >50%, n=46	ФВ 40–49%, n=24	ФВ <40%, n=26	F	P-value
Общий холестерин, мг/дл	191,1±10,6	181,3±48,7	186,1±46,3	F=0,444	0,642
ТГ, мг/дл	216,2 (99,0–178,0)	197,3 (129–243)	179,3 (120–204)	F=1,738	0,180
ХС ЛПВП, мг/дл	43,6±11,1	39,1±9,8	37,5±8,1	F=4,450	0,013
ХС ЛПОНП, мг/дл	45,7 (35,5–52,8)	39,4 (26,0–48,5)	36,6 (23,8–40,8)	F=1,383	0,253
ХС ЛПНП, мг/дл	107,3±16,3	102,8±48,8	111,0±40,8	F=0,243	0,784
Коэффициент атерогенности	3,5±1,3	3,9±1,6	4,1±1,6	F=1,530	0,219
Глюкоза, ммоль/л	6,3 (5,0–6,6)	7,7 (5,2–8,5)	7,9 (5,6–9,1)	F=3,216	0,042
Креатинин, мкмоль/л	86,6±16,3	91,6±19,8	96,1±22,3	F=2,013	0,137
СКФ, мл/мин/1,73 м ²	85,1±8,5	78,2±16,0	72,6±18,1	F=2,947	0,056
С-реактивный белок, мг/л	2,2 (1,0–2,9)	3,5 (1,7–6,2)	4,9 (2,5–7,8)	F=3,834	0,025
Гемоглобин, г/л	136,8±5,7	133,4±11,5	129,6±13,3	F=3,112	0,048
NT-proBNP, пг/мл	296,8 (156,3–387,5)	768 (400–1250)	3120 (1450–5850)	F=16,324	0,000
Мочевая кислота, мг/дл	5,4 (4,9–5,7)	6,0 (5,1–6,7)	6,1 (5,2–7,2)	F=1,245	0,295

Примечание: ТГ – триглицериды; ХС ЛПВП – холестерин липопротеидов высокой плотности; ХС ЛПОНП – холестерин липопротеидов очень низкой плотности; ХС ЛПНП – холестерин липопротеидов низкой плотности; СКФ – скорость клубочковой фильтрации; NT-proBNP – натрийуретический пептид.



При этом уровни общего холестерина (ОХС), триглицеридов (ТГ), липопротеидов низкой (ЛПНП) и очень низкой плотности (ЛПОНП), а также коэффициент атерогенности (КА) существенно не отличались между группами ($p>0,05$).

Показатели функции почек демонстрировали тенденцию к ухудшению при снижении ФВ: уровень креатинина повышался (с $86,6\pm 16,3$ до $96,1\pm 22,3$ мкмоль/л), а скорость клубочковой фильтрации (СКФ) снижалась (до $72,6\pm 18,1$ мл/мин/1,73 м² при ФВ <40%), однако статистическая значимость этих изменений не была достигнута ($p=0,137$ и $p=0,056$ соответственно).

У пациентов с низкой ФВ отмечалось повышение уровня С-реактивного белка (СРБ) – медиана 4,9 мг/л против 2,2 мг/л в группе с сохраненной ФВ ($p=0,025$), что свидетельствует о наличии системного воспаления. Также наблюдалось статистически значимое снижение уровня гемоглобина (с $136,8\pm 5,7$ до $129,6\pm 13,3$ г/л, $p=0,048$). Статистически значимое снижение уровня гемоглобина при снижении ФВ (с $136,8\pm 5,7$ до $129,6\pm 13,3$ г/л, $p=0,048$) может указывать на развитие анемии хронического заболевания.

Наиболее выраженные различия между группами выявлены по уровню натрийуретического пептида, который существенно возрастал с уменьшением ФВ – от медианы 296,8 (156,3–387,5) пг/мл в группе с ФВ >50% до 3120 (1450–5850) пг/мл в группе с ФВ <40% ($p<0,001$), отражая степень перегрузки объемом и давление в полостях сердца.

Повышенный уровень мочевой кислоты, ассоциирующийся с более тяжелым течением ХСН и ухудшением прогноза, отражает процессы окислительного стресса, воспаления и эндотелиальной дисфункции. В нашей выборке статистически значимых различий по уровню мочевой кислоты между группами выявлено не было ($p=0,295$).

Таким образом, снижение ФВ у пациентов с ХСН ассоциируется с выраженными нарушениями гемодинамики, углеводно-липидного обмена и воспалительными процессами.

В табл. 3 приведены данные, в которых у пациентов с ХСН при снижении ФВ ЛЖ отмечались достоверные различия в структуре и размерах сердца, а также в параметрах диастолической функции. Диаметр аорты постепенно увеличивался от $31,6\pm 3,3$ мм при ФВ >50% до $33,9\pm 4,2$ мм при ФВ <40% ($p=0,009$), что может отражать компенсаторное ремоделирование сосудистой стенки. Конечный диастолический объем (КДО) и конечный систолический объем (КСО) существенно увеличивались при снижении насосной функции: КДО увеличился с $87,0\pm 25,6$ мл до $141,3\pm 38,1$ мл, а КСО – с $36,4\pm 11,4$ мл до $98,5\pm 30,0$ мл соответственно (оба $p=0,001$), указывая на дилатацию ЛЖ. Объем ЛП также возрастал по мере снижения ФВ – с $45,2\pm 12,2$ мм до $62,2\pm 16,9$ мм ($p=0,001$), а индекс объема ЛП – с $23,1\pm 6,6$ до $31,5\pm 8,2$ мл/м² ($p=0,001$), что может отражать прогрессирование хронической перегрузки объемом. Толщина межжелудочковой перегородки (ТМЖП) и задней стенки ЛЖ (ТЗСЛЖ) статистически значимо не отличалась между группами ($p=0,257$ и $p=0,867$ соответственно), что может быть связано с вариабельностью развития и выраженности гипертрофических изменений у разных пациентов, а также особенностями выборки.

В табл. 3 представлены данные, свидетельствующие об увеличении объема и повышении давления в ЛП по мере снижения ФВ ЛЖ, что подтверждается

Таблица 3
Эхокардиографические параметры и показатели диастолической функции левого желудочка у пациентов с хронической сердечной недостаточностью в зависимости от уровня фракции выброса
Table 3
Echocardiographic parameters and left ventricular diastolic function indicators in patients with chronic heart failure depending on ejection fraction level

Показатель	ФВ >50%, n=46	ФВ 40–49%, n=24	ФВ <40%, n=26	F, χ^2	P-value
Диаметр аорты, мм	31,6±3,3	32,7±4,5	33,9±4,2	F=4,887	0,009
КДО, мм	87,0±25,6	119,0±35,0	141,3±38,1	F=45,419	0,001
КСО, мм	36,4±11,4	66,0±20,7	98,5±30,0	F=169,891	0,001
Объем ЛП, мм	45,2±12,2	54,2±15,1	62,2±16,9	F=20,141	0,001
ИОЛП, мл/м ²	23,1±6,6	29,6±8,4	31,5±8,2	F=20,926	0,001
ТМЖП, мм	11,0±1,7	10,6±2,9	10,4±1,7	F=1,369	0,257
ТЗСЛЖ, мм	10,0±1,2	9,9±2,2	10,1±0,8	F=0,142	0,867
ФВ, %	58,5±3,4	44,1±2,3	30,8±4,7	F=772,170	0,001
N ДФ, n (%)	28 (20%)	0 (0%)	0 (0%)	$\chi^2=12,019$	0,002
ДДЛЖ I ст., n (%)	107 (78%)	21 (88%)	6 (23%)	$\chi^2=35,981$	0,001
ДДЛЖ II ст., n (%)	2 (2%)	3 (12%)	16 (62%)	$\chi^2=79,167$	0,001
ДДЛЖ III ст., n (%)	0 (0%)	0 (0%)	4 (15%)	$\chi^2=25,311$	0,001

Примечание: данные представлены как среднее ± стандартное отклонение. Статистическая проверка выполнена с использованием дисперсионного анализа ANOVA (F) и критерия χ^2 . P<0,05 считается статистически значимым. Обозначения: ЛП – левое предсердие; ИОЛП – индекс объема ЛП; КДО – конечный диастолический объем левого желудочка; КСО – конечный систолический объем левого желудочка; ЛП – левое предсердие; ТМЖП – толщина межжелудочковой перегородки; ТЗСЛЖ – толщина задней стенки левого желудочка; ФВ – фракция выброса; N ДФ – нормальная диастолическая функция ЛЖ; ДДЛЖ – диастолическая дисфункция левого желудочка.

значительным ростом абсолютных и индексированных размеров ЛП (до 62,2±16,9 мм и 31,5±8,2 мл/м² при ФВ <40%, p=0,001), а также характерными изменениями диастолической функции ЛЖ.

Распределение типов ДДЛЖ также существенно различалось между группами (все p<0,01). Нормальная диастолическая функция наблюдалась только у пациентов с ФВ >50% (28%). Диастолическая дисфункция I степени (нарушение релаксации) преобладала в группе с ФВ >50% (78%), в то время как при сниженной ФВ увеличивалась доля пациентов с более тяжелыми формами: при ФВ <40% II степень (псевдонормальный тип) была выявлена у 61,5% пациентов, а III степень (рестриктивный тип) – у 15,4%, тогда как в группах с более высокой ФВ эти типы либо отсутствовали, либо встречались единично. Эти изменения отражают прогрессирующее ухудшение диастолической функции на фоне снижения насосной способности миокарда и подтверждают наличие выраженного ремоделирования сердца при тяжелых формах ХСН.

Как видно из табл. 4, глобальная продольная деформация ЛЖ была значительно ниже у пациентов с пониженной ФВ. В группе с ФВ >50% среднее значение GLS составило 17,0±2,8%, тогда как при ФВ 40–49% и <40% значения снижались до 12,6±2,1% и 9,4±2,2% соответственно (p<0,001). Аналогичная тенденция наблюдалась для GLS, измеренного в 4-, 2- и 3-камерных проекциях. Данные свидетельствуют о высокой чувствительности GLS к снижению сократительной функции миокарда и подтверждают его клиническую значимость в оценке функционального состояния

Таблица 4
Сравнительная оценка показателей двухмерной спекл-трекинг ЭхоКГ в сравниваемых группах
Table 4

Comparative assessment of two-dimensional speckle-tracking echocardiography parameters in the study groups

Показатель	ФВ >50%, n=46	ФВ 40–49%, n=24	ФВ <40%, n=26	F, p
GLS 4, %	17,1±3,1	12,6±2,5	8,9±2,4	F=97,066, p=0,001
GLS 2, %	16,9±3,1	12,1±1,7	9,5±2,0	F=91,832, p=0,001
GLS 3, %	16,8±3,5	12,8±2,6	10,0±2,8	F=54,187, p=0,001
GLS average, %	17,0±2,8	12,6±2,1	9,4±2,2	F=105,288, p=0,001
LASr, %	35,5±8,3	27,5±9,4	17,8±11,2	F=46,875, p=0,001
LASct, %	18,7±5,9	12,5±3,4	8,7±4,6	F=43,743, p=0,001
LAScd, %	17,6±5,4	12,7±5,8	8,8±6,5	F=30,922, p=0,001
RV FWLS, %	21,3±4,0	19,9±2,8	14,0±4,1	F=38,625, p=0,001
RV GLS (4CH), %	18,1±3,2	16,0±2,7	10,5±3,1	F=65,366, p=0,001

Примечание: n – количество больных; GLS 4, 2, 3 – глобальная продольная деформация ЛЖ в четырех-, двух-, трехкамерной позиции; LASr – резервуарная фаза левого предсердия; LASct – кондуктивная фаза; LAScd – сократительная фаза; RV FWLS (Right Ventricular Free Wall Longitudinal Strain) – глобальная продольная деформация свободной стенки правого желудочка; RV GLS (4CH) – Right Ventricular Global Longitudinal Strain (4-chamber view).

ЛЖ. Исследование функций ЛП с использованием двухмерной спекл-трекинг ЭхоКГ в резервуарной, кондуктивной и сократительной фазах также демонстрирует достоверное снижение абсолютных показателей: LASr (резервуарная фаза) – 35,5±8,3% (ФВ >50%) → 17,8±11,2% (ФВ <40%), p<0,001; LASct (кондуктивная) – 17,6±5,4% → 8,8±6,5%, p<0,001; LAScd (сократительная) – 18,7±5,9% → 8,7±4,6%, p<0,001.

У пациентов с ФВ ЛЖ выше 50% показатели продольной деформации ПЖ были наивысшими (RV FWLS – 21,3±4,0%, RV GLS – 18,1±3,2%), тогда как при ФВ 40–49% они снижались (соответственно 19,9±2,8% и 16,0±2,7%), а при ФВ ниже 40% отмечалось наиболее выраженное снижение (RV FWLS – 14,0±4,1%, RV GLS – 10,5±3,1%) с достоверной разницей между группами (p=0,001). Это указывает на прогрессирующее ухудшение функции ПЖ при снижении сократительной способности ЛЖ, что подчеркивает необходимость комплексной оценки обоих желудочков при сердечной недостаточности.

Данное уменьшение деформации отражает снижение эластичности и сократительной способности предсердной стенки, вызванное хронической перегрузкой давлением и структурным ремоделированием миокарда ЛП, включая развитие фиброза и уменьшение механического резерва. Таким образом, выявленная закономерность между прогрессирующей дилатацией и повышением давления в ЛП с ухудшением его деформационных параметров подчеркивает важность комплексной оценки механики предсердия для стратификации риска и мониторинга пациентов с ХСН, особенно в группах с умеренным и значительным снижением систолической функции ЛЖ.

■ ОБСУЖДЕНИЕ

Результаты настоящего исследования подтверждают наличие четкой этапности ремоделирования миокарда при ХСН, которая коррелирует со степенью снижения ФВ ЛЖ. Эти данные согласуются с современными представлениями о патофизиологии

ХСН, согласно которым прогрессирование заболевания сопровождается последовательным вовлечением в патологический процесс не только ЛЖ, но и ЛП и ПЖ [1, 4, 6, 7].

На раннем этапе у пациентов с сохраненной ФВ (>50%) изменения преимущественно носят компенсаторный характер. Отмечается незначительное увеличение объема ЛП при сохранении его резервуарной и сократительной функций, а также нормальные показатели глобальной продольной деформации ЛЖ. Диастолическая функция ЛЖ на данном этапе либо сохранена, либо характеризуется незначительными нарушениями, соответствующими I стадии диастолической дисфункции [10].

С переходом к промежуточной группе (ФВ 40–49%) выявляются признаки начала декомпенсации. Объем ЛП существенно увеличивается, что сопровождается ухудшением его деформационных характеристик, отражающих ухудшение резервуарной и сократительной функций [4, 6]. На этом этапе также наблюдается ухудшение GLS ЛЖ, снижение комплаентности миокарда и прогрессирование диастолической дисфункции, преимущественно до II стадии [10].

На поздней стадии (ФВ <40%) регистрируются выраженные проявления структурной и функциональной перестройки миокарда. ЛП подвергается значительной дилатации и практически утрачивает способность к деформации, что отражает стойкое повышение давления наполнения и тяжелую перегрузку объемом. GLS ЛЖ снижается до критических значений (в среднем до $9,4 \pm 2,2\%$), указывая на глубокую систолическую дисфункцию. Одновременно вовлекается в процесс ПЖ, что подтверждается снижением его продольной деформации и коррелирует с ухудшением клинического состояния [7, 8].

Таким образом, данные нашего исследования подтверждают, что ремоделирование камер сердца при ХСН ишемического генеза носит поэтапный характер и сопровождается достоверными изменениями деформационных показателей всех отделов сердца. Применение двухмерной спекл-трекинг эхокардиографии позволяет выявить субклинические формы дисфункции даже на этапах сохраненной ФВ, что подчеркивает ее важность для ранней диагностики и динамического наблюдения за пациентами с ХСН.

■ ЗАКЛЮЧЕНИЕ

ХСН представляет собой мультисистемное заболевание, при котором прогрессирующее снижение фракции выброса сопровождается нарушением углеводно-липидного обмена, системным воспалением, ухудшением функции почек и развитием анемии. Результаты настоящего исследования подтверждают наличие тесной взаимосвязи между степенью систолической дисфункции и выраженностью системных метаболических и гемодинамических нарушений. Наиболее значимые изменения выявлены при сопоставлении уровня NT-proBNP, C-реактивного белка, ЛПВП и глюкозы, что подчеркивает диагностическую и прогностическую значимость этих показателей при стратификации риска у пациентов с ХСН.

Современные поиски в кардиологии все больше сосредоточены на ранней диагностике субклинических форм миокардиальной дисфункции. В этом контексте особую актуальность приобретает внедрение высокочувствительных методов оценки деформационных характеристик миокарда, которые позволяют выявлять начальные стадии ремоделирования задолго до появления явных клинических признаков сердечной недостаточности. Комплексная оценка параметров деформации ЛЖ, ЛП



и ПЖ обеспечивает более полное понимание последовательного вовлечения сердечных камер в патологический процесс.

Полученные данные свидетельствуют о многоуровневом характере ремоделирования сердца при ХСН, где ключевым патогенетическим звеном выступает прогрессирующее нарушение функции ЛЖ. Это изменение сопровождается последовательным вовлечением ЛП и ПЖ, отражая переход от компенсированных форм заболевания к стадии декомпенсации. Данное исследование формирует основу для более точной стратификации риска у пациентов с ХСН и внедрения ранней диагностики структурно-функциональных изменений при помощи деформационного анализа, а в сочетании с комплексной оценкой клинико-лабораторных маркеров позволяет своевременно адаптировать терапевтические стратегии, улучшить прогноз и качество жизни пациентов с ХСН. Таким образом, у пациентов с ХСН ишемического генеза наблюдается поэтапное ремоделирование всех камер сердца – ЛЖ, ЛП и ПЖ – с нарастанием выраженности функциональных нарушений по мере снижения фракции выброса. Глобальный продольный стрейн ЛЖ, а также деформационные параметры ЛП (LASr, LASct, LAScd) и ПЖ (RV FWLS, RV GLS) демонстрируют высокую чувствительность к изменениям сердечной гемодинамики и могут служить ранними маркерами прогрессирования ХСН. Спекл-трекинг эхокардиография представляет собой информативный неинвазивный метод оценки субклинической дисфункции миокарда и может быть полезна для стратификации риска и мониторинга эффективности терапии у пациентов с ХСН различной степени тяжести.

Следует отметить, что представленные результаты являются предварительными и получены на ограниченной выборке пациентов. Несмотря на примененные методы статистической обработки и строгий отбор участников, полученные результаты исследования требуют подтверждения в более масштабных многоцентровых и продольных исследованиях. Настоящая работа призвана обозначить возможные направления для дальнейших исследований, а не предоставить окончательные клинические рекомендации.

■ ЛИТЕРАТУРА/REFERENCES

1. Ponikowski P, et al. 2016 ESC Guidelines for the diagnosis and treatment of acute and chronic heart failure: The Task Force of the European Society of Cardiology (ESC). *Eur Heart J*. 2016;37(27):2129–2200. DOI: 10.1093/eurheartj/ehw128
2. Virani S.S., et al. Heart Disease and Stroke Statistics – 2021 Update. *Circulation*. 2021;143:e254–e743. DOI: 10.1161/CIR.0000000000000950
3. Bui A.L., Horwich T.B., Fonarow G.C. Epidemiology and risk profile of heart failure. *Nat Rev Cardiol*. 2011;8(1):30–41. DOI: 10.1038/nrcardio.2010.165
4. Thomas L., Muraru D., Popescu B.A., et al. Evaluation of Left Atrial Size and Function: Relevance for Clinical Practice. *J Am Soc Echocardiogr*. 2020;33(8):934–952. DOI: 10.1016/j.echo.2020.03.021
5. Yancy C.W., et al. 2017 ACC/AHA/HFSA Focused Update of the 2013 ACCF/AHA Guideline for the Management of Heart Failure: A Report of the American College of Cardiology/American Heart Association Task Force on Clinical Practice Guidelines and the Heart Failure Society of America. *J Am Coll Cardiol*. 2017;70(6):776–803. <https://doi.org/10.1161/CIR.0000000000000509>
6. Calvilho Júnior A.A., et al. Left Atrial Strain in the Analysis of LV Diastolic Function: Ready to Use? *Arq Bras Cardiol: Imagem cardiovasc*. 2023;36(1):e357. DOI: 10.36660/abcimg.20223571
7. Smiseth O.A., et al. Multimodality imaging in patients with heart failure and preserved ejection fraction: an expert consensus document of the European Association of Cardiovascular Imaging. *Eur Heart J Cardiovasc Imaging*. 2022 Jan 24;23(2):e34–e61. DOI: 10.1093/ehjci/jeab154
8. Gorter T.M., et al. Right ventricular dysfunction in heart failure with preserved ejection fraction: a systematic review and meta-analysis. *Eur J Heart Fail*. 2016;18(12):1472–1487. DOI: 10.1002/ehf.630
9. Stanton T., et al. Prediction of all-cause mortality from global longitudinal speckle strain: comparison with ejection fraction and wall motion scoring. *Circulation*. 2009;119(17): 2613–2620. DOI: 10.1161/CIRCIMAGING.109.862334
10. Nagueh S.F., et al. Recommendations for the evaluation of left ventricular diastolic function by echocardiography: an update from the American Society of Echocardiography and the European Association of Cardiovascular Imaging. *J Am Soc Echocardiogr*. 2016;29(4):277–314. DOI: 10.1016/j.echo.2016.01.011