

DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2024.149.64>

## ВЫЯВЛЕНИЕ ПРЕДИКТОРОВ ПОСТИНФАРКТНОГО РЕМОДЕЛИРОВАНИЯ ЛЕВОГО ЖЕЛУДОЧКА МЕТОДОМ ТРЕХМЕРНОЙ СПЕКЛ-ТРЕКИНГ ЭХОКАРДИОГРАФИИ

Научная статья

Кренева Е.Л.<sup>1,\*</sup>, Неласов Н.Ю.<sup>2</sup>, Сидоров Р.В.<sup>3</sup>, Оврулова М.М.<sup>4</sup>

<sup>1</sup>ORCID : 0000-0002-6807-4933;

<sup>1, 2, 3, 4</sup> Ростовский государственный медицинский университет, Ростов-на-Дону, Российская Федерация

\* Корреспондирующий автор (maka727[at]icloud.com)

### Аннотация

Цель исследования. Определить показатели деформации, характеризующие ремоделирования миокарда левого желудочка (ЛЖ) у больных с ишемической болезнью сердца (ИБС), перенесших инфаркт миокарда (ИМ).

Материалы и методы. Для выявления маркеров ремоделирования проведена стресс-эхокардиография с вазодилататором Na-аденозинтрифосфатом (АТФ). В исследовании приняли участие пациенты кардиохирургического стационара с диагнозом ИБС, перенесшие инфаркт миокарда в прошлом, а также без него. Во время проведения стресс-эхокардиографии параметры деформации, зарегистрированные с помощью 4D-AFI технологии, сравнивались со стандартными эхокардиографическими методиками определения ремоделирования левого желудочка. Регистрация и обработка данных проведены на УЗ- сканере Vivid E95 GE Healthcare (USA). Результаты проанализированы с помощью статистических программ MedCalc® Statistical Software version 22.014, IBM SPSS Statistics version 23 (USA).

Результаты исследования. Методом регрессионного анализа были определены показатели деформации, изменяющиеся на пике нагрузки у пациентов, перенесших инфаркт миокарда. Это показатели глобального скручивания ( $p=0,036$ ) и вращения ( $p=0,016$ ). Отношение шансов проявления изменения параметров: глобального циркулярного стрейна на 63%, глобального продольного стрейна на 4%, глобального радиального стрейна на 11%, глобального вращения на 71% выше у пациентов, перенесших инфаркт миокарда. В целом, модель изучения показателей деформации, характеризующих ремоделирования ЛЖ при стресс-эхокардиографии у пациентов, перенесших инфаркт миокарда, показала высокий уровень диагностической эффективности: AUC=0,840 (95%CI:0,71-0,92).

Выводы. Метод трехмерной стресс-эхокардиографии, с расчетом показателей стрейна на пике нагрузочной пробы, эффективен для диагностики функционального ремоделирования левого желудочка сердца у пациентов, перенесших инфаркт миокарда.

**Ключевые слова:** постинфарктное ремоделирование, спекл-трекинг эхокардиография, стресс-эхокардиография с АТФ.

## IDENTIFICATION OF PREDICTORS OF POSTINFARCTION LEFT VENTRICULAR REMODELLING BY THREE-DIMENSIONAL SPECKLE-TRACKING ECHOCARDIOGRAPHY

Research article

Kreneva E.L.<sup>1,\*</sup>, Nelasov N.Y.<sup>2</sup>, Sidorov R.V.<sup>3</sup>, Ovrulova M.M.<sup>4</sup>

<sup>1</sup>ORCID : 0000-0002-6807-4933;

<sup>1, 2, 3, 4</sup> Rostov State Medical University, Rostov-on-Don, Russian Federation

\* Corresponding author (maka727[at]icloud.com)

### Abstract

Research objective. To determine the strain indices characterizing the left ventricular (LV) myocardial remodelling in patients with coronary heart disease (CHD) who underwent myocardial infarction (MI).

Materials and methods. Stress echocardiography with vasodilator Na-adenosine triphosphate (ATP) was performed to detect markers of remodelling. The study included cardiac surgical inpatients with a diagnosis of CHD, with and without a history of myocardial infarction. During stress echocardiography, the deformation parameters recorded using 4D-AFI technology were compared with standard echocardiographic techniques for determining left ventricular remodelling. Data registration and processing were performed on a Vivid E95 GE Healthcare (USA) ultrasound scanner. The results were analysed using MedCalc® Statistical Software version 22.014, IBM SPSS Statistics version 23 (USA).

Research results. The method of regression analysis was used to determine the strain indices that change at the peak of loading in patients with myocardial infarction. These are the parameters of global torsion ( $p=0.036$ ) and rotation ( $p=0.016$ ). The odds' ratio of manifestation of changes in the parameters: global circular strain by 63%, global longitudinal strain by 4%, global radial strain by 11%, global rotation by 71% is higher in patients who have undergone myocardial infarction. Overall, the model for studying deformation indices characterizing LV remodelling during stress echocardiography in patients who had undergone myocardial infarction showed a high level of diagnostic efficiency: AUC=0.840 (95%CI:0.71-0.92).

Conclusions. The method of three-dimensional stress-echocardiography with calculation of strain indices at the peak of stress test is effective for diagnostics of functional remodelling of the left ventricle of the heart in patients after myocardial infarction.

**Keywords:** postinfarction remodelling, speckle-tracking echocardiography, stress echocardiography with ATP.

## Введение

Постинфарктное ремоделирование левого желудочка является негативным прогностическим фактором развития сердечной недостаточности у пациентов кардиохирургического профиля [1], [9], [10]. Данный вид ремоделирования связан с потерей контрактильности участков миокарда и изменением механики сокращения, что может проявляться клиническими симптомами, даже при сохраненной фракции выброса [2], [3], [7]. В РФ, по данным на 2020 г., смертность при хронической сердечной недостаточности с сохраненной фракцией выброса составила 7%. [5], [11]. Современные методики эхокардиографии, такие как трехмерная спекл-трекинг эхокардиография позволяют с высокой точностью рассчитывать деформационные параметры, характеризующие структурные и функциональные изменения миокарда левого желудочка [4], [6], [8].

## Методы и принципы исследования

В результате анализа и обобщения данных литературных источников нами была сформулирована основная гипотеза исследования. Она состояла в том, что формирование функционального ремоделирования после инфаркта миокарда у пациентов с сохраненной фракцией выброса может быть изучено путем проведения стресс-эхокардиографии.

Исследование проводилось на базе ультразвукового и кардиохирургического отделений клиники ФГБОУ ВО РостГМУ МЗ РФ г. Ростова-на-Дону с 2018 по 2022 гг. Объектом исследования стали пациенты кардиохирургического стационара с диагнозом ИБС, постинфарктный кардиосклероз, ХСН 1-3 ФК по НУНА. Контрольную группу составили пациенты без инфаркта миокарда в анамнезе. В исследовании приняли участие 51 пациент с ИБС: 25 с перенесенным инфарктом миокарда, средний возраст 58 лет (95%ДИ: 55,27-60,72) и 26 человек без перенесенного инфаркта, средний возраст 60,2 года (95%ДИ: 57,53-63,04). У всех пациентов с ишемической болезнью сердца были выявлены на коронарографии поражения коронарных артерий с пограничными и значимыми стенозами (более 60%). При этом у всех пациентов систолическая функция, оцененная методом стандартной эхокардиографии, была компенсирована (фракция выброса левого желудочка составила не менее 50%).

Всем обследованным выполнялась 4D AFI (four dimensional automated function imaging) стресс-эхокардиография с АТФ. Данная методика была разработана на кафедре ультразвуковой диагностики ФГБОУ ВО РостГМУ Минздрава России (патент на изобретение РФ № 2688441 от 21.05.2019 г.). Для выявления изменений, характерных для постинфарктного ремоделирования, проводилась стресс-эхокардиография с АТФ со ступенчатым повышением дозы от 140 мкг/кг/мин до 210 мкг/кг/мин до достижения гиперемии миокарда. Проба считалась достигнутой при снижении АД не менее, чем на 5 мм рт ст и при повышении ЧСС более, чем на 10 уд. в мин. Алгоритм представлен на рисунке 1.

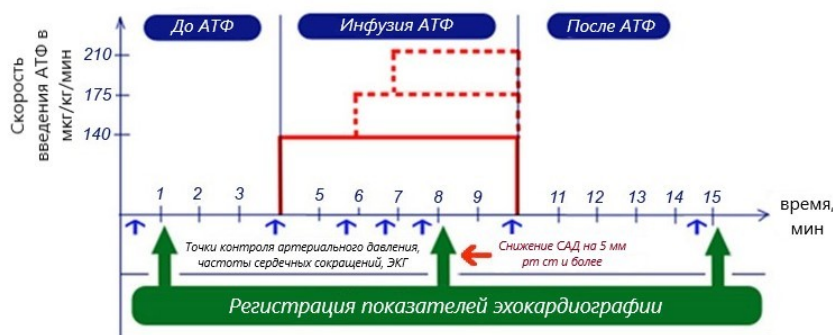


Рисунок 1 - Алгоритм проведения нагрузочной пробы с АТФ

DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2024.149.64.1>

Регистрация эхокардиографических показателей проводилась на приборе Vivid E95 4V-D трансдьюсером (GE Healthcare, USA). Расчет деформационных показателей осуществлялся на том же приборе методом 4D – LVQ (four dimensional left ventricular quantification). В эксперименте оценивались следующие показатели: глобальный продольный стрейн, глобальный циркулярный стрейн, глобальный радиальный стрейн, глобальный стрейн по площади, глобальное вращение и скручивание. Статистическая обработка данных проводилась с помощью программ MedCalc® Statistical Software version 22.014, IBM SPSS Statistics version 23. (USA).

## Основные результаты

После расчета минимального объема выборки для получения статистически достоверных выводов с помощью номограммы Альтмана ( $n=42$ ,  $p < 0,05$ ) мы приступили к обработке полученных данных.

Группы пациентов с ишемической болезнью сердца и контрольная группа были сопоставимы по возрасту: критерий Хартли  $F=1,135$ ,  $p=0,382$  (95% ДИ по разности:  $-5,6 - 1,6$ ). Использование данного критерия было связано с тем, что не все данные были распределены нормально.

С целью выявления значимых параметров, характеризующих ремоделирование ЛЖ у пациентов с постинфарктным кардиосклерозом, проведен логистический регрессионный анализ. Были изучены показатели деформации в покое и на пике нагрузочной пробы. Параметры на пике нагрузочной пробы показали лучшую статистическую значимость: Хи-квадрат = 21,036,  $p = 0,007$ . Для выявления пессимистичных параметров, с помощью

которых можно описать изменения, характерные для пациентов, перенесших инфаркт миокарда левого желудочка применен критерий Вальда. Данные расчетов представлены в таблице 1.

Таблица 1 - Значения критерия Вальда для показателей глобальной деформации на пике нагрузочной пробы

DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2024.149.64.2>

Переменная	Коэффициент	Стандартная ошибка	Критерий Вальда	Уровень значимости
Глобальная продольная деформация на пике нагрузки	0,036920	0,20727	0,03173	0,8586
Сферический индекс на пике нагрузки	-0,85723	4,95861	0,02989	0,8627
Фракция выброса на пике нагрузки	-0,047282	0,057747	0,6704	0,4129
Глобальный циркулярный стрейн на пике нагрузки	0,49396	0,27233	3,2899	0,0697
Глобальный радиальный стрейн на пике нагрузки	0,10408	0,093622	1,2358	0,2663
Глобальный стрейн по площади на пике нагрузки	-0,010974	0,24625	0,001986	0,9645
Глобальное вращение на пике нагрузки	0,53848	0,22426	5,7656	0,0163
Глобальное скручивание на пике нагрузки	-2,98553	1,43001	4,3588	0,0368
Константа	5,65682	3,29008	2,9562	0,0855

Согласно значениям критерия Вальда, даже при оценивании таких признаков, как глобальное вращение ( $p=0,016$ ) и глобальное скручивание ( $p=0,037$ ) возможно построить модель, характеризующую изменения у пациентов с постинфарктным кардиосклерозом.

Дополнительно было изучено отношение шансов возникновения различий в показателях деформации на пике нагрузочной пробы у пациентов, перенесших инфаркт миокарда и без него.

Так, частота встречаемости изменений глобального продольного стрейна на 4% (95% ДИ: 0,692 – 1,557), глобального циркулярного стрейна на 63% (95% ДИ: 0,961 – 2,794), глобального радиального стрейна на 11% (95% ДИ: 0,923 – 1,333), глобальной ротации на 71% (95% ДИ: 1,104 – 2, 659) выше у пациентов с ИБС, перенесших инфаркт миокарда.

При проведении ROC анализа была подтверждена производительность классификационной модели с высоким уровнем диагностической эффективности: AUC – 0,840 (95% ДИ: 0,710 – 0,927).

Таким образом, анализ показателей глобальной деформации во время проведения нагрузочной пробы выявил достоверные отличия в группах с перенесенным инфарктом и без него.

### Обсуждение

Трехмерная эхокардиография в реальном масштабе времени позволяет выявлять наиболее специфичные для постинфарктного ремоделирования изменения, а именно изменения функции изгнания крови из ЛЖ [1], [2], [3], [9]. Последние исследования показали, что как двухмерная, так и трехмерная спекл-трекинг эхокардиография могут быть полезны в оценке ремоделирования левого желудочка и в стратификации риска после инфаркта миокарда [6]. Обнаружено, что трехмерный регионарный стрейн независимо связан с риском смерти от сердечной недостаточности после инфаркта миокарда, предполагается, что это может быть полезным прогностическим параметром [7], [10]. В результате нашего эксперимента были подтверждены достоверные отличия в показателях глобального продольного стрейна, показателей циркулярного стрейна, а также показателей глобального вращения и скручивания у пациентов, перенесших инфаркт миокарда и без него, на пике проведения пробы с АТФ [4], [8]. Полученные нами результаты

подтверждают литературные данные о том, что продольный стрейн является высокочувствительным показателем поражения миокарда левого желудочка при ИБС и является дополнительным предиктором его ремоделирования. Помимо лонгитудинального стрейна, изученные нами параметры циркулярного, радиального стрейна, скручивания и вращения левого желудочка показали связь с ремоделированием миокарда во время проведения стресс-эхокардиографии у пациентов, перенесших инфаркт миокарда. В дальнейшем планируется использовать вышеуказанные параметры деформации для построения модели, характеризующей функциональное ремоделирование левого желудочка. По последним литературным данным, в настоящее время эти параметры находятся на стадии сбора и подтверждения данных [10].

### Заключение

В результате проведенного эксперимента были найдены изменения показателей деформации, а именно скручивания, вращения, продольного, радиального и циркулярного стрейна, характерные для постинфарктного ремоделирования у пациентов с ишемической болезнью сердца и сохраненной фракцией выброса левого желудочка. Регистрация показателей деформации на пике нагрузочной пробы методом трехмерной спекл-трекинг эхокардиографии в реальном масштабе времени позволяет обнаружить субклинические изменения систолической функции левого желудочка сердца.

### Благодарности

Авторы выражают благодарность сотрудникам кардиохирургического отделения и отделения ультразвуковой диагностики ФГБОУ ВО РостГМУ Минздрава России за содействие при проведении эксперимента.

### Конфликт интересов

Не указан.

### Рецензия

Пышкина Ю.С., Тюменский государственный медицинский университет, Тюмень, Российская Федерация, Самарский государственный медицинский университет, Самара, Российская Федерация  
DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2024.149.64.3>

### Acknowledgement

Authors express their gratitude to the staff of the cardiac surgery department and ultrasound diagnostics department of the FSBEI HE of RostSMU of the Ministry of Health of Russia for their assistance in the experiment.

### Conflict of Interest

None declared.

### Review

Pyshkina Y.S., Tyumen State Medical University, Tyumen, Russian Federation, Samara State Medical University, Samara, Russian Federation  
DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2024.149.64.3>

### Список литературы / References

- Luisi G.A. Severe Impairment of Left Ventricular Regional Strain in STEMI Patients Is Associated with Post-Infarct Remodeling. / G.A. Luisi, G. Pestelli, G. Lorenzoni [et al.] // J. Clin. Med. — 2022. — № 11 (18). — P. 5348. — DOI: 10.3390/jcm11185348.
- Siddiqui S. Left ventricular magnetic resonance imaging strain predicts the onset of Duchenne muscular dystrophy-associated cardiomyopathy / S. Siddiqui, T. Alsaied, S.E. Henson [et al.] // Circulation: Cardiovascular Imaging. — 2020. — № 13. — P. e011526.
- Швец Д.А. Спекл-трекинг эхокардиография в оценке систоло-диастолической функции левого желудочка при ишемической болезни сердца с учетом особенностей строения миокарда / Д.А. Швец, С.В. Поветкин // Ультразвуковая и функциональная диагностика. — 2021. — № 2. — С. 19–38.
- Picano E. Stress echocardiography / E. Picano. — Switzerland: Springer, 2023. — 672 p.
- Барабаш О.Л. Клинические рекомендации. Стабильная ишемическая болезнь сердца / О.Л. Барабаш, Ю.А. Карпов, Р.С. Акчурин [и др.] // Министерство здравоохранения РФ. Рубрикатор КР. — 2020. — URL: [https://cr.minzdrav.gov.ru/schema/155\\_2](https://cr.minzdrav.gov.ru/schema/155_2) (дата обращения: 29.10.2024)
- Kumar P. Quantitative Measurement of Left Ventricular Function: Comparison of Two- Dimensional Speckle-Tracking Echocardiography with Two-Dimensional and Three- Dimensional Ejection Fraction / P. Kumar, Ch. Mohan, A. Rawat [et al.] // Journal of Cardiovascular Disease Research. — 2022. — Vol.13. — № 4. — P. 710–722.
- Karuzas A. Accuracy of three-dimensional systolic dyssynchrony and sphericity indexes for identifying early left ventricular remodeling after acute myocardial infarction / A. Karuzas, E. Rumbinaite, D. Verikas [et al.] // Anatol J Cardiol. — 2019. — № 22 (1). — P. 13–20. — DOI: 10.14744/AnatolJCardiol.2019.02844.
- Иванов С.И. Практическое применение неинвазивных функциональных показателей левого желудочка при стресс-эхокардиографии в диагностике стабильной ишемической болезни сердца / С.И. Иванов, М.Н. Алехин // Кардиология и сердечно-сосудистая хирургия. — 2023. — № 16 (1). — С. 12–16.
- Van der Bijl P. Left ventricular post-infarct remodeling; implications for systolic function improvement and outcomes in the modern era / P. Van der Bijl, R. Abou, L. Goedemans [et al.] // JACC Heart Fail. — 2020. — № 8. — P. 131–140.
- Zhang S. The optimal definition and prediction nomogram for left ventricular remodelling after acute myocardial infarction / S. Zhang, Z. Zhu, M. Luo [et al.] // ESC Heart Fail. — 2023. — № 10 (5). — P. 2955–2965. — DOI: 10.1002/ehf2.14479.
- Терещенко С.Н. Клинические рекомендации. Хроническая сердечная недостаточность / С.Н. Терещенко, А.С. Галявич, Ф.Т. Агеев [и др.] // Министерство здравоохранения РФ. Рубрикатор КР. — 2020. — URL: [https://cr.minzdrav.gov.ru/recomend/156\\_1](https://cr.minzdrav.gov.ru/recomend/156_1) (дата обращения: 24.10.2024).

**Список литературы на английском языке / References in English**

1. Luisi G.A. Severe Impairment of Left Ventricular Regional Strain in STEMI Patients Is Associated with Post-Infarct Remodeling. / G.A. Luisi, G. Pestelli, G. Lorenzoni [et al.] // *J. Clin. Med.* — 2022. — № 11 (18). — P. 5348. — DOI: 10.3390/jcm11185348.
2. Siddiqui S. Left ventricular magnetic resonance imaging strain predicts the onset of Duchenne muscular dystrophy-associated cardiomyopathy / S. Siddiqui, T. Alsaied, S.E. Henson [et al.] // *Circulation: Cardiovascular Imaging.* — 2020. — № 13. — P. e011526.
3. Shvets D.A. Spekl-treking ehokardiografija v otsenke sistolo-diastolicheskoj funktsii levogo zheludochka pri ishemicheskoj bolezni serdtsa s uchetom osobennostej stroenija miokarda [Speckle-tracking echocardiography in the assessment of systolic-diastolic function of the left ventricle in ischemic heart disease, taking into account the peculiarities of the structure of the myocardium] / D.A. Shvets, S.V. Povetkin // *Ul'trazvukovaja i funkcional'naja diagnostika [Ultrasound and Functional Diagnostics].* — 2021. — № 2. — P. 19–38. [in Russian]
4. Picano E. Stress echocardiography / E. Picano. — Switzerland: Springer, 2023. — 672 p.
5. Barabash O.L. Klinicheskie rekomendatsii. Stabil'naja ishemicheskaja bolezni' serdtsa [Clinical recommendations. Stable ischemic heart disease] / O.L. Barabash, Ju.A. Karpov, R.S. Akchurin [et al.] // *Ministerstvo zdravoohraneniya RF. Rubrikator KR [The Ministry of Health of the Russian Federation. The rubricator of the CR].* — 2020. — URL: [https://cr.minzdrav.gov.ru/schema/155\\_2](https://cr.minzdrav.gov.ru/schema/155_2) (accessed: 29.10.2024) [in Russian]
6. Kumar P. Quantitative Measurement of Left Ventricular Function: Comparison of Two- Dimensional Speckle-Tracking Echocardiography with Two-Dimensional and Three- Dimensional Ejection Fraction / P. Kumar, Ch. Mohan, A. Rawat [et al.] // *Journal of Cardiovascular Disease Research.* — 2022. — Vol.13. — № 4. — P. 710–722.
7. Karuzas A. Accuracy of three-dimensional systolic dyssynchrony and sphericity indexes for identifying early left ventricular remodeling after acute myocardial infarction / A. Karuzas, E. Rumbinaite, D. Verikas [et al.] // *Anatol J Cardiol.* — 2019. — № 22 (1). — P. 13–20. — DOI: 10.14744/AnatolJCardiol.2019.02844.
8. Ivanov S.I. Prakticheskoe primenenie nein vazivnyh funktsional'nyh pokazatelej levogo zheludochka pri stress-ehokardiografii v diagnostike stabil'noj ishemicheskoj bolezni serdtsa [Practical application of noninvasive functional parameters of the left ventricle in stress echocardiography in the diagnosis of stable coronary heart disease] / S.I. Ivanov, M.N. Alehin // *Kardiologija i serdechno-sosudistaja hirurgija [Cardiology and Cardiovascular Surgery].* — 2023. — № 16 (1). — P. 12–16. [in Russian]
9. Van der Bijl P. Left ventricular post-infarct remodeling: implications for systolic function improvement and outcomes in the modern era / P. Van der Bijl, R. Abou, L. Goedemans [et al.] // *JACC Heart Fail.* — 2020. — № 8. — P. 131–140.
10. Zhang S. The optimal definition and prediction nomogram for left ventricular remodelling after acute myocardial infarction / S. Zhang, Z. Zhu, M. Luo [et al.] // *ESC Heart Fail.* — 2023. — № 10 (5). — P. 2955–2965. — DOI: 10.1002/ehf2.14479.
11. Tereschenko S.N. Klinicheskie rekomendatsii. Hronicheskaja serdechnaja nedostatochnost' [Clinical recommendations. Chronic heart failure] / S.N. Tereschenko, A.S. Galjavich, F.T. Ageev [et al.] // *Ministerstvo zdravoohraneniya RF. Rubrikator KR [The Ministry of Health of the Russian Federation. The rubricator of the CR].* — 2020. — URL: [https://cr.minzdrav.gov.ru/recomend/156\\_1](https://cr.minzdrav.gov.ru/recomend/156_1) (accessed: 24.10.2024). [in Russian]