

DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2025.151.41>

ВЫЯВЛЕНИЕ СИМПТОМ-СВЯЗАННЫХ КОРОНАРНЫХ АРТЕРИЙ У БОЛЬНЫХ ИБС ВО ВРЕМЯ ТРЕХМЕРНОЙ СТРЕСС-ЭХОКАРДИОГРАФИИ С АДЕНОЗИНТРИФОСФАТОМ С ПОМОЩЬЮ РАЗЛИЧНЫХ МЕТОДИК ДЕФОРМАЦИИ МИОКАРДА ЛЕВОГО ЖЕЛУДОЧКА

Научная статья

Оврулова М.М.^{1,*}, Неласов Н.Ю.², Кренева Е.Л.³, Моргунов М.Н.⁴, Ерошенко О.Л.⁵, Паленый А.И.⁶, Нечаева А.Г.⁷

¹ ORCID : 0000-0002-0111-2202;

³ ORCID : 0000-0002-6807-4933;

⁴ ORCID : 0000-0002-6238-9782;

⁵ ORCID : 0000-0002-6501-0731;

^{1, 2, 3, 4, 5, 6, 7} Ростовский государственный медицинский университет, Ростов-на-Дону, Российская Федерация

* Корреспондирующий автор (ovrulova[at]bk.ru)

Аннотация

Цель. Для выявления стресс-индуцированной ишемии миокарда левого желудочка (ЛЖ) помимо стресс-эхокардиографии (СЭхоКГ) могут быть использованы различные эхокардиографические алгоритмы анализа деформации: продольная (ПД), циркулярная (ЦД), радиальная (РД), по площади (ДП) и тканевая доплеровская продольная деформация (ПДдоп). Целью настоящего исследования является анализ алгоритмов (ПД, ЦД, РД, ДП или ПДдоп) и определение наиболее эффективного из них для обнаружения симптом-связанных артерий у пациентов со стабильной ИБС во время трехмерной стресс-эхокардиографии с аденозинтрифосфатом (4D СЭхоКГ с АТФ), а также сравнение данных алгоритмов с традиционной визуальной оценкой сегментарной сократимости.

Материал и методы. 47 пациентам (42 мужчины, 5 женщин, средний возраст 59,7 года (95% ДИ: 57,7–61,7 года)) со стабильной, ангиографически подтвержденной ишемической болезнью сердца (ИБС), была выполнена 4D СЭхоКГ с АТФ. Критерием ухудшения деформации миокарда ЛЖ во время стресс-теста было увеличение значений на 5%, по крайней мере в двух соседних сегментах миокарда при использовании методов ПД, ЦД, ДП, ПДдоп, и снижение на 10% – при использовании метода РД.

Результаты. При проведении стресс-теста алгоритм ПД при использовании пошагового/количественного режима выявил появление/усиление нарушений деформации в зонах кровоснабжения пораженных коронарных артерий у 74,5%, ЦД – у 63,6%, РД – у 70,4%, ДП – у 81,8% и ПДдоп – у 66,6% пациентов, в то время как визуальная оценка сократимости миокарда ЛЖ выявила ее нарушения только у 36,2% пациентов (различия во всех случаях достоверные).

Заключение. Все алгоритмы сегментарного анализа деформации (продольной деформации, циркулярной деформации, радиальной деформации, деформации по площади, тканевой доплеровской продольной деформации) позволяют более эффективно идентифицировать симптом-связанные артерии во время 4D СЭхоКГ с АТФ у пациентов со стабильной ИБС, чем визуальная оценка сегментарной сократимости миокарда; наиболее эффективными методами выявления симптом-связанных артерий являются деформации по площади и продольной деформации.

Ключевые слова: ИБС, симптом-связанные коронарные артерии, трехмерная стресс-эхокардиография, деформация миокарда левого желудочка.

DETECTION OF SYMPTOM-RELATED CORONARY ARTERIES IN IHD PATIENTS DURING THREE-DIMENSIONAL STRESS ECHOCARDIOGRAPHY WITH ADENOSINE TRIPHOSPHATE USING DIFFERENT LEFT VENTRICULAR MYOCARDIAL DEFORMATION TECHNIQUES

Research article

Ovrulova M.M.^{1,*}, Nelasov N.Y.², Kreneva E.L.³, Morgunov M.N.⁴, Eroshenko O.L.⁵, Paleniy A.I.⁶, Nechaeva A.G.⁷

¹ ORCID : 0000-0002-0111-2202;

³ ORCID : 0000-0002-6807-4933;

⁴ ORCID : 0000-0002-6238-9782;

⁵ ORCID : 0000-0002-6501-0731;

^{1, 2, 3, 4, 5, 6, 7} Rostov State Medical University, Rostov-on-Don, Russian Federation

* Corresponding author (ovrulova[at]bk.ru)

Abstract

Objective. Different echocardiographic algorithms for strain analysis can be used to detect stress-induced left ventricular (LV) myocardial ischaemia in addition to stress echocardiography (SEchocardiography): longitudinal (L), circular (C), radial (R), area-based (AB) and tissue Doppler longitudinal strain (TDIs). The aim of the present study is to analyse the algorithms (L, C, R, AB or TDIs) and to determine the most effective one for detection of symptom-related arteries in patients with stable IHD during 3D stress echocardiography with adenosine triphosphate (4D SECHO with ATP), and to compare these algorithms with traditional visual assessment of segmental contractility.

Material and methods. 47 patients (42 men, 5 women, mean age 59.7 years (95% CI: 57.7-61.7 years)) with stable, angiographically confirmed coronary heart disease (CHD) underwent 4D SECHO with ATP. The criterion for worsening of LV

myocardial deformation during the stress test was a 5% increase in values in at least two adjacent myocardial segments using the L, C, R, and TDIs methods, and a 10% decrease using the R method.

Results. During stress-testing the L algorithm using stepwise/quantitative mode detected appearance/increase of deformation disorders in the areas of blood supply of the affected coronary arteries in 74.5%, C – in 63.6%, R – in 70.4%, AB – in 81.8% and TDIs – in 66.6% of patients, while visual assessment of LV myocardial contractility revealed its disturbances only in 36.2% of patients (the differences in all cases are reliable).

Conclusion. All algorithms of segmental strain analysis (longitudinal strain, circular strain, radial strain, area strain, tissue Doppler longitudinal strain) allow to identify symptom-related arteries during 4D echoCG with ATP in patients with stable IHD more effectively than visual assessment of segmental myocardial contractility; area and longitudinal strain are the most effective methods to identify symptom-related arteries.

Keywords: IHD, symptom-related coronary artery disease, three-dimensional stress echocardiography, left ventricular myocardial deformation.

Введение

На данный момент ишемическая болезнь сердца (ИБС) занимает одно из первых мест в мире по встречаемости и смертности [1], [2], причем в большинстве случаев, это заболевание обусловлено нарушением кровоснабжения миокарда вследствие обструкции коронарных артерий [3].

Первым специфическим неинвазивным методом диагностики ИБС является Стресс-ЭхоКГ с физической или фармакологической нагрузкой [4], [5].

В литературе имеются данные о большей эффективности методик деформации/стрейна миокарда левого желудочка (ЛЖ) при выполнении СЭхоКГ для оценки наличия или отсутствия участков акинеза или гипокинеза в зонах кровоснабжения стенозированных и окклюзированных коронарных артерий у больных со стабильными формами ИБС [6]. Однако какая из этих методик оценки нарушения деформации лучше выявляют стресс-индуцированную ишемию у больных ИБС в зонах кровоснабжения пораженных коронарных артерий и лучше идентифицируют симптом-зависимые коронарные артерии, до сих пор остается неясным.

Цель исследования: оценить эффективность обнаружения симптом-связанных артерий у больных ИБС во время трехмерной стресс-эхокардиографии с аденозинтрифосфатом в режиме реального времени (4D СЭхоКГ с АТФ) при применении различных методик анализа деформации миокарда левого желудочка двумя способами (пошаговым/количественным и автоматизированным/количественным) и сравнить их между собой и с традиционной визуальной оценкой региональной сократимости миокарда.

Методы и принципы исследования

На базе Ростовского государственного медицинского университета (РостГМУ) обследовано 47 пациентов (42 мужчины, 5 женщин, средний возраст 59,7 года (95% ДИ: 57,7–61,7)) со стабильной ИБС с обструкцией магистральных коронарных артерий, подтвержденной при выполнении коронароангиографии, и с сохранной ФВ (выше 50%).

Всем пациентам на эхокардиографе Vivid E95 (General Electric, США), оснащенном матричным объемным секторным датчиком 4VD, была проведена 4D СЭхоКГ с АТФ в реальном масштабе времени по алгоритму, разработанному и запатентованному нами ранее [7], [8], с использованием технологии автоматизированной оценки функции левого желудочка (AFI), пространственного спекл-трекинга/тканевого следа, а также тканевого доплера. АТФ (ВИАЛ, Россия) вводили внутривенно интракубитально с помощью шприцевого дозатора Инстилар-1438 (Диксион, Россия). Запись ЭхоКГ параметров на втором этапе теста осуществлялась только при достижении состояния эффективной системной и коронарной вазодилатации (снижение систолического артериального давления на 5 мм рт. ст. и более). На каждом этапе нагрузочной пробы (а также в ходе анализа видеоклипов, записанных во время стресс-теста в трехплоскостном режиме из апикальной позиции датчика) визуально оценивали сегментарную сократимость миокарда ЛЖ, а при активированной программе анализа скорости движения миокарда (QTVI) – посегментарную деформацию миокарда ЛЖ в режиме тканевого доплера (ПДдоп). В ходе выполнения фармакологического стресс-теста и использования спекл-трекинг технологии, нами были изучены данные, полученные с помощью следующих алгоритмов анализа деформации миокарда: продольной деформации (ПД), радиальной деформации (РД), циркулярной деформации (ЦД), деформации по площади (ДП). Для наглядного представления полученной информации был использован формат оценки сегментарной сократимости и деформации миокарда ЛЖ в виде диаграмм «бычий глаз» (с выделением зон кровоснабжения передней межжелудочковой ветви левой коронарной артерии (ПМЖВ), огибающей ветви левой коронарной артерии (ОВ) и правой коронарной артерии/задней нисходящей ветви левой коронарной артерии (ПКА)); при этом спекл-трекинг данные отображались в виде диаграммы «бычий глаз», сгенерированной автоматизированно программой AFI, а данные о локальной сократимости и тканевой доплерографии – с помощью специальной компьютерной программы, разработанной нами. Признаком стресс-индуцированной ишемии считали обнаружение в двух и более сегментах миокарда, в зоне кровоснабжения той или иной магистральной коронарной артерии, ухудшения сократимости миокарда (при визуальном контроле), либо ухудшения деформационных процессов (при применении AFI и тканевого доплера) на пике фармакологической нагрузки (второй этап стресс-теста) [9], [10]. Использовали два способа оценки динамики процессов деформации при использовании спекл-трекинг технологии:

- а) пошаговый количественный (с последовательным сравнением значений деформации в каждом из сегментов миокарда ЛЖ исходно и на пике нагрузки);
- б) визуальный/колориметрический (с визуальной оценкой только изменения расположения, площади и выраженности пятен раскраски на диаграмме «бычий глаз»).

Критериями ухудшения деформации во время нагрузки в том или ином сегменте при применении пошагового метода было увеличение исходных значений при нагрузке как минимум на 5% при использовании методов ПД, ЦД,

ДП, ПДдоп и уменьшение на 10% – при использовании метода РД [11], [12], [13], [15]; критерием ухудшения деформации при колориметрической оценке было расширение зон голубых/синих оттенков на диаграмме и усиление интенсивности прокраски сегментов в случае использования алгоритмов ПД, ЦД и ДП и, наоборот, розовых/красных – при применении алгоритма РД. Сохранение/обнаружение описанных изменений в фазе восстановления нагрузочной пробы (через 5 мин после прекращения инфузии АТФ) повышало надежность вывода о наличии индуцированной ишемии [16].

Для статистически-математического анализа собранных данных использовали пакет программ Statistica 10.0 (StatSoft, США). При сравнении качественных показателей применен точный метод Фишера, а при сравнении количественных – тест Вилкоксона. Статистически значимым считался показатель $p < 0,05$.

Исследование было одобрено комитетом по этике РостГМУ и проводилось в соответствии с этическими стандартами, изложенными в Хельсинкской декларации Всемирной медицинской ассоциации «Этические принципы медицинских исследований с участием человека».

Основные результаты

Данные об эффективности обнаружения симптом-связанных коронарных артерий по результату детекции появления/усиления нарушений сегментарной сократимости миокарда ЛЖ во время 4D СЭхоКГ с АТФ либо появления/усиления сегментарных стресс-индуцированных нарушений деформации в зоне кровоснабжения той или иной артерии при использовании различных алгоритмов расчета показателей деформации представлены в таблице (№1).

Таблица 1 - Частота выявления симптом-связанных коронарных артерий во время 4D СЭхоКГ с АТФ при использовании различных методик/алгоритмов оценки нарушений миокардиальной сегментарной сократимости/деформации

DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2025.151.41.1>

Методика/алгоритм оценки нарушений сегментарной сократимости/нарушений деформации	Частота выявления симптом-связанных коронарных артерий (%)	Достоверность различий с визуальной оценкой сократимости (p)
Визуальная оценка сократимости	36,2	–
Продольная деформация/тканевой след (авт)	72,3	0,0008
Продольная деформация /тканевой след (пошаг)	74,5	0,0004
Циркулярная деформация (авт)	50,0	0,2080
Циркулярная деформация (пошаг)	63,6	0,0119
Радиальная деформация (авт)	63,6	0,0119
Радиальная деформация (пошаг)	70,4	0,0015
Деформация по площади (авт)	63,6	0,0119
Деформация по площади (пошаг)	81,8	< 0,0001
Продольная деформация/тканевой доплер	66,6	0,0079

Как видно из таблицы, применение показателей анализа деформации практически во всех случаях достоверно повышает точность выявления симптом-зависимых артерий по сравнению с визуальным контролем сегментарной сократимости миокарда ЛЖ (исключение составляет только лишь показатель ЦД с автоматизированной/колориметрической оценкой данных). Это не противоречит данным литературы [6], [15], [19], [21]. Наиболее информативными в диагностике оказываются алгоритмы оценки деформации по площади и продольного стрейна при использовании пошагового посегментарного количественного анализа (оба алгоритма опираются в анализе на технологию тканевого следа). Но следует учитывать, что данные по первому из алгоритмов могут быть получены только при использовании 4D СЭхоКГ, а второго – при использовании как 4D СЭхоКГ, так и 2D СЭхоКГ.

Обсуждение

4D СЭхоКГ все шире используется в диагностической кардиологии. По сравнению с обычной двумерной (2D) СЭхоКГ, она имеет следующие преимущества: быстрота записи объемных видеоклипов во время скоротечного стресс-теста, возможность набора ультразвуковых данных и проведение их автоматизированного анализа оператором без

большого опыта работы в кардиальной функциональной диагностике, оценка локальной сократимости/деформации миокарда синхронно во всех сегментах миокарда ЛЖ на протяжении одного сердечного цикла и, наконец, возможность применения нового перспективного трехмерного показателя деформации по площади (который невозможно получить при обычной 2D ЭхоКГ) [17], [18].

Ранее нами было продемонстрировано, что применение АТФ в качестве стресс-агента при СЭхоКГ намного более безопасно, чем применение допамина, аденозина, дипиридамола, а экономически – намного более целесообразно [7].

Учитывая эти обстоятельства, мы и решили провести наше исследование по оценке сравнительной диагностической эффективности различных ультразвуковых методов обнаружения симптом-связанных магистральных коронарных артерий в формате 4D СЭхоКГ с АТФ.

В ряде исследований было показано, что у лиц с ИБС ухудшение деформационных процессов в миокарде ЛЖ во время нагрузочных проб, регистрируемое с помощью разных алгоритмов оценки стрейна, ассоциировано с формированием стресс-индуцированной ишемии и позволяет выявлять симптом-связанные коронарные артерии [6], [12], [15], [20]. Это и объясняет наш интерес к изучению деформационных процессов в миокарде у больных ИБС.

Заключение

1. Все алгоритмы сегментарной оценки деформации миокарда ЛЖ на основе технологии тканевого следа (продольная деформация, ПД, ЦД, РД, ДП) при использовании обоих способов (пошагового/количественного и автоматизированного/колориметрического) являются более эффективными по сравнению с визуальной оценкой сегментарной сократимости миокарда.

2. Наиболее эффективными в выявлении симптом-связанных артерий оказываются алгоритмы на основе технологии тканевого следа ДП и ПД.

3. Более эффективным приемом обнаружения симптом-связанных артерий является пошаговый/количественный метод анализа деформации.

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.2025.151.41.2>

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.2025.151.41.2>

Список литературы / References

1. Martin S.S. American Heart Association Council on Epidemiology and Prevention Statistics Committee and Stroke Statistics Subcommittee. 2024 Heart Disease and Stroke Statistics: A Report of US and Global Data From the American Heart Association / S.S. Martin, A.W. Aday, Z.I. Almarzooq [et al.] // *Circulation*. — 2024. — № 149 (8). — P. e347–e913. — DOI: [10.1161/CIR.0000000000001209](https://doi.org/10.1161/CIR.0000000000001209).

2. Здравоохранение в России. — 2023. — URL: <https://rosstat.gov.ru/folder/210/document/13218> (дата обращения: 03.08.2024).

3. Gerber Y. Coronary Disease Surveillance in the Community: Angiography and Revascularization / Y. Gerber, R.J. Gibbons, S.A. Weston [et al.] // *J Am Heart Assoc*. — 2020. — № 9 (7). — P. e015231. — DOI: [10.1161/JAHA.119.015231](https://doi.org/10.1161/JAHA.119.015231). — URL: <https://rosstat.gov.ru/folder/210/document/13218> (accessed: 03.08.2024).

4. Клинические рекомендации. Стабильная ишемическая болезнь сердца / МЗ РФ. — 2020. — URL: https://scardio.ru/content/activities/2021/guide/Barbarash_IBS.pdf (дата обращения: 04.08.2024).

5. Knuuti J. ESC Scientific Document Group. 2019 ESC Guidelines for the diagnosis and management of chronic coronary syndromes / J. Knuuti, W. Wijns, A. Saraste [et al.] // *Eur Heart J*. — 2020. — № 41 (3). — P. 407–477. — DOI: [10.1093/eurheartj/ehz425](https://doi.org/10.1093/eurheartj/ehz425).

6. Gulati M. AHA/ACC/ASE/CHEST/SAEM/SCCT/SCMR Guideline for the Evaluation and Diagnosis of Chest Pain: A Report of the American College of Cardiology/American Heart Association Joint Committee on Clinical Practice Guidelines / M. Gulati, P.D. Levy, D. Mukherjee [et al.] // *J Am Coll Cardiol*. — 2021. — № 78 (22). — P. e187–e285. — DOI: [10.1016/j.jacc.2021.07.053](https://doi.org/10.1016/j.jacc.2021.07.053).

7. Gupta K. Role of left ventricle deformation analysis in stress echocardiography for significant coronary artery disease detection: A diagnostic study meta-analysis / K. Gupta, T.S. Kakar, A. Gupta [et al.] // *Echocardiography*. — 2019. — № 36 (6). — P. 1084–1094. — DOI: [10.1111/echo.14365](https://doi.org/10.1111/echo.14365).

8. Неласов Н.Ю. Нагрузочная проба с аденозинтрифосфатом в стресс-эхокардиографии: обоснование оптимального алгоритма исследования / Н.Ю. Неласов, Р.В. Сидоров, М.Н. Моргунов [и др.] // *Кардиология*. — 2019. — № 59. — С. 39–47. — DOI: [10.18087/cardio.2019.11.2665](https://doi.org/10.18087/cardio.2019.11.2665).

9. Boshchenko A. Adenosine, Regadenoson Stress Echocardiography / A. Boshchenko, O. Zhuravleva, A. Vrublevsky [et al.] // *Stress Echocardiography* / Ed. by E. Picano. — 2023. — P. 333–353. — DOI: [10.1007/978-3-031-31062-1_20](https://doi.org/10.1007/978-3-031-31062-1_20).

10. Montalescot G. 2013 ESC guidelines on the management of stable coronary artery disease: the Task Force on the management of stable coronary artery disease of the European Society of Cardiology / G. Montalescot, U. Sechtem, S. Achenbach [et al.] // *Eur Heart J*. — 2013. — № 34 (38). — P. 2949–3003. — DOI: [10.1093/eurheartj/ehz296](https://doi.org/10.1093/eurheartj/ehz296).

11. Smiseth O.A. Myocardial strain imaging: how useful is it in clinical decision making? / O.A. Smiseth, H. Torp, A. Opdahl [et al.] // *Eur Heart J.* — 2016. — № 37. — P. 1196–207. — DOI: 10.1093/eurheartj/ehv529.
12. Norum I.B. Diagnostic accuracy of left ventricular longitudinal function by speckle tracking echocardiography to predict significant coronary artery stenosis. A systematic review / I.B. Norum, V. Ruddox, T. Edvardsen [et al.] // *BMC Med Imaging.* — 2015. — № 15. — P. 25. — DOI: 10.1186/s12880-015-0067-y.
13. Voigt J.U. Strain-rate imaging during dobutamine stress echocardiography provides objective evidence of inducible ischemia / J.U. Voigt, B. Exner, K. Schmiedehausen [et al.] // *Circulation.* — 2003. — № 107 (16). — P. 2120–2126.
14. Cusmà-Piccione M. Longitudinal Strain by Automated Function Imaging Detects Single-Vessel Coronary Artery Disease in Patients Undergoing Dipyridamole Stress Echocardiography / M. Cusmà-Piccione, C. Zito, L. Oreto [et al.] // *J Am Soc Echocardiogr.* — 2015. — № 28 (10). — P. 1214–1221. — DOI: 10.1016/j.echo.2015.06.001.
15. Dattilo G. Ischemic heart disease and early diagnosis. Study on the predictive value of 2D strain / G. Dattilo, E. Imbalzano, A. Lamari [et al.] // *Int J Cardiol.* — 2016. — № 15 (215). — P. 150–156. — DOI: 10.1016/j.ijcard.2016.04.035.
16. Rumbinaite E. Value of myocardial deformation parameters for detecting significant coronary artery disease / E. Rumbinaite, A. Karuzas, D. Verikas [et al.] // *J Cardiovasc Thorac Res.* — 2022. — № 14 (3). — P. 180–190. — DOI: 10.34172/jcvtr.2022.30.
17. Uusitalo V. Two-Dimensional Speckle-Tracking during Dobutamine Stress Echocardiography in the Detection of Myocardial Ischemia in Patients with Suspected Coronary Artery Disease / V. Uusitalo, M. Luotolahti, M. Pietilä [et al.] // *J Am Soc Echocardiogr.* — 2016. — № 29 (5). — P. 470–479.e3. — DOI: 10.1016/j.echo.2015.12.013.
18. Arbucci R. Strain and Real-Time Three-Dimensional Stress Echocardiography / R. Arbucci, E. Picano // *Stress Echocardiography* / E. Picano. — Springer, Cham, 2023. — DOI: 10.1007/978-3-031-31062-1_13.
19. Deng Y. Four-dimensional echocardiography area strain combined with exercise stress echocardiography to evaluate left ventricular regional systolic function in patients with mild single vessel coronary artery stenosis / Y. Deng, L. Peng, Y.Y. Liu [et al.] // *Echocardiography.* — 2017. — № 34 (9). — P. 1332–1338. — DOI: 10.1111/echo.13638.

Список литературы на английском языке / References in English

1. Martin S.S. American Heart Association Council on Epidemiology and Prevention Statistics Committee and Stroke Statistics Subcommittee. 2024 Heart Disease and Stroke Statistics: A Report of US and Global Data From the American Heart Association / S.S. Martin, A.W. Aday, Z.I. Almarzooq [et al.] // *Circulation.* — 2024. — № 149 (8). — P. e347–e913. — DOI: 10.1161/CIR.0000000000001209.
2. Zdravooohranenie v Rossii [Healthcare in Russia]. — 2023. — URL: <https://rosstat.gov.ru/folder/210/document/13218> (accessed: 03.08.2024). [in Russian]
3. Gerber Y. Coronary Disease Surveillance in the Community: Angiography and Revascularization / Y. Gerber, R.J. Gibbons, S.A. Weston [et al.] // *J Am Heart Assoc.* — 2020. — № 9 (7). — P. e015231. — DOI: 10.1161/JAHA.119.015231. — URL: <https://rosstat.gov.ru/folder/210/document/13218> (accessed: 03.08.2024).
4. Klinicheskie rekomendacii. Stabil'naja ishemicheskaja bolezn' serdca [Clinical recommendations for stable coronary heart disease] / Ministry of Health of the Russian Federation. — 2020. — URL: https://scardio.ru/content/activities/2021/guide/Barbarash_IBS.pdf (accessed: 04.08.2024). [in Russian]
5. Knuuti J. ESC Scientific Document Group. 2019 ESC Guidelines for the diagnosis and management of chronic coronary syndromes / J. Knuuti, W. Wijns, A. Saraste [et al.] // *Eur Heart J.* — 2020. — № 41 (3). — P. 407–477. — DOI: 10.1093/eurheartj/ehz425.
6. Gulati M. AHA/ACC/AASE/CHEST/SAEM/SCCT/SCMR Guideline for the Evaluation and Diagnosis of Chest Pain: A Report of the American College of Cardiology/American Heart Association Joint Committee on Clinical Practice Guidelines / M. Gulati, P.D. Levy, D. Mukherjee [et al.] // *J Am Coll Cardiol.* — 2021. — № 78 (22). — P. e187–e285. — DOI: 10.1016/j.jacc.2021.07.053.
7. Gupta K. Role of left ventricle deformation analysis in stress echocardiography for significant coronary artery disease detection: A diagnostic study meta-analysis / K. Gupta, T.S. Kakar, A. Gupta [et al.] // *Echocardiography.* — 2019. — № 36 (6). — P. 1084–1094. — DOI: 10.1111/echo.14365.
8. Nelasov N.Ju. Nagruzoch'naja proba s adenzinotriposfatom v stress-jehokardiografii: obosnovanie optimal'nogo algoritma issledovanija [Echocardiographic stress test with adenosine triphosphate: optimization of the algorithm] / N.Ju. Nelasov, R.V. Sidorov, M.N. Morgunov [et al.] // *Kardiologija [Cardiology].* — 2019. — № 59. — P. 39–47. — DOI: 10.18087/cardio.2019.11.2665. [in Russian]
9. Boshchenko A. Adenosine, Regadenoson Stress Echocardiography / A. Boshchenko, O. Zhuravleva, A. Vrublevsky [et al.] // *Stress Echocardiography* / Ed. by E. Picano. — 2023. — P. 333–353. — DOI: 10.1007/978-3-031-31062-1_20.
10. Montalescot G. 2013 ESC guidelines on the management of stable coronary artery disease: the Task Force on the management of stable coronary artery disease of the European Society of Cardiology / G. Montalescot, U. Sechtem, S. Achenbach [et al.] // *Eur Heart J.* — 2013. — № 34 (38). — P. 2949–3003. — DOI: 10.1093/eurheartj/ehz296.
11. Smiseth O.A. Myocardial strain imaging: how useful is it in clinical decision making? / O.A. Smiseth, H. Torp, A. Opdahl [et al.] // *Eur Heart J.* — 2016. — № 37. — P. 1196–207. — DOI: 10.1093/eurheartj/ehv529.
12. Norum I.B. Diagnostic accuracy of left ventricular longitudinal function by speckle tracking echocardiography to predict significant coronary artery stenosis. A systematic review / I.B. Norum, V. Ruddox, T. Edvardsen [et al.] // *BMC Med Imaging.* — 2015. — № 15. — P. 25. — DOI: 10.1186/s12880-015-0067-y.
13. Voigt J.U. Strain-rate imaging during dobutamine stress echocardiography provides objective evidence of inducible ischemia / J.U. Voigt, B. Exner, K. Schmiedehausen [et al.] // *Circulation.* — 2003. — № 107 (16). — P. 2120–2126.

14. Cusmà-Piccione M. Longitudinal Strain by Automated Function Imaging Detects Single-Vessel Coronary Artery Disease in Patients Undergoing Dipyridamole Stress Echocardiography / M. Cusmà-Piccione, C. Zito, L. Oreto [et al.] // *J Am Soc Echocardiogr.* — 2015. — № 28 (10). — P. 1214–1221. — DOI: 10.1016/j.echo.2015.06.001.
15. Dattilo G. Ischemic heart disease and early diagnosis. Study on the predictive value of 2D strain / G. Dattilo, E. Imbalzano, A. Lamari [et al.] // *Int J Cardiol.* — 2016. — № 15 (215). — P. 150–156. — DOI: 10.1016/j.ijcard.2016.04.035.
16. Rumbinaite E. Value of myocardial deformation parameters for detecting significant coronary artery disease / E. Rumbinaite, A. Karuzas, D. Verikas [et al.] // *J Cardiovasc Thorac Res.* — 2022. — № 14 (3). — P. 180–190. — DOI: 10.34172/jcvtr.2022.30.
17. Uusitalo V. Two-Dimensional Speckle-Tracking during Dobutamine Stress Echocardiography in the Detection of Myocardial Ischemia in Patients with Suspected Coronary Artery Disease / V. Uusitalo, M. Luotolahti, M. Pietilä [et al.] // *J Am Soc Echocardiogr.* — 2016. — № 29 (5). — P. 470–479.e3. — DOI: 10.1016/j.echo.2015.12.013.
18. Arbucci R. Strain and Real-Time Three-Dimensional Stress Echocardiography / R. Arbucci, E. Picano // *Stress Echocardiography* / E. Picano. — Springer, Cham, 2023. — DOI: 10.1007/978-3-031-31062-1_13.
19. Deng Y. Four-dimensional echocardiography area strain combined with exercise stress echocardiography to evaluate left ventricular regional systolic function in patients with mild single vessel coronary artery stenosis / Y. Deng, L. Peng, Y.Y. Liu [et al.] // *Echocardiography.* — 2017. — № 34 (9). — P. 1332–1338. — DOI: 10.1111/echo.13638.