

Мазур Е. С.¹, Мазур В. В.¹, Николаева Т. О.¹,
Джанибекова Л. Р.^{2,3}, Джанибекова А. Р.³, Беганская Н. С.¹

¹ ФГБОУ ВО Тверской ГМУ Минздрава РФ, Тверь, Россия

² РГБ ЛПУ «Карачаево-Черкесская республиканская клиническая больница», Черкесск, Россия

³ ФГБОУ ВО «Северо-Кавказская государственная академия» Минздрава РФ, Черкесск, Россия

ПРОДОЛЬНАЯ СИСТОЛИЧЕСКАЯ ДЕФОРМАЦИЯ И ПОСТСИСТОЛИЧЕСКОЕ УКОРОЧЕНИЕ МИОКАРДА ЛЕВОГО ЖЕЛУДОЧКА В ПОКОЕ И ПРИ СТРЕСС- ЭХОКАРДИОГРАФИИ КАК ПРЕДИКТОРЫ СТЕНОЗА КОРОНАРНЫХ АРТЕРИЙ У ПАЦИЕНТОВ С УМЕРЕННОЙ ПРЕТЕСТОВОЙ ВЕРОЯТНОСТЬЮ ИШЕМИЧЕСКОЙ БОЛЕЗНИ СЕРДЦА

Цель	Сравнение диагностических возможностей оценки глобального продольного стрейна (ГПС), глобального постсистолического индекса (ГПСИ) и патологического постсистолического укорочения (ППСУ) в выявлении гемодинамически значимого коронарного стеноза у пациентов с умеренной претестовой вероятностью ишемической болезни сердца.
Материал и методы	В исследование включены 79 пациентов (52 мужчины, медиана возраста 62,0 года), которым были выполнены проба с физической нагрузкой на велоэргометре под эхокардиографическим контролем и инвазивная коронарография. Показатели деформации миокарда определяли до и сразу после физической нагрузки с помощью спекл-трекинг эхокардиографии.
Результаты	Гемодинамически значимый коронарный стеноз выявлен у 53 пациентов. Пациенты со стенозом (1-я группа) и без такового (2-я группа) были сопоставимы по возрасту и половому составу, однако ППСУ в 1-й группе чаще отмечались артериальная гипертензия (90,6% против 69,2%; $p=0,0241$) и сахарный диабет (32,1% против 7,7%; $p=0,0236$). До физической нагрузки у пациентов 1-й группы был ниже ГПС (18,8 [16,1; 20,6] % против 21,9 [19,3; 22,8] %; $p=0,0003$), но выше ГПСИ (2,94 [1,69; 5,84] % против 1,62 [1,00; 2,76] %; $p=0,0091$) и распространенность ППСУ (50,9% против 19,2%; $p=0,0073$). Площадь под кривой ошибок (AUC) для ГПС как признака коронарного стеноза составляла 0,751 (95% доверительный интервал – ДИ 0,641–0,842), для ГПСИ – 0,681 (95% ДИ 0,567–0,782), для ППСУ – 0,659 (95% ДИ 0,543–0,762). После физической нагрузки средние значения ГПС в 1-й и 2-й группах составили 20,3 [14,6; 24,1] и 24,3 [22,3; 27,6] % ($p=0,0001$) соответственно, ГПСИ – 7,88 [4,69; 10,5] и 1,35 [0,35; 2,76] % соответственно ($p<0,0001$), распространенность ППСУ – 90,6 и 7,7% соответственно ($p<0,0001$). AUC для ГПС равнялась 0,767 (95% ДИ 0,658–0,855), для ГПСИ – 0,910 (95% ДИ 0,825–0,963), для ППСУ – 0,914 (95% ДИ 0,830–0,966).
Заключение	В покое диагностические возможности ГПС в отношении коронарного стеноза выше, чем ГПСИ и ППСУ. После физической нагрузки диагностические возможности ГПСИ и ППСУ значительно выше, чем ГПС.
Ключевые слова	Ишемическая болезнь сердца; претестовая вероятность; стресс-эхокардиография; спекл-трекинг эхокардиография; глобальный продольный стрейн левого желудочка; постсистолическое укорочение; постсистолический индекс
Для цитирования	Mazur E. S., Mazur V. V., Nikolaeva T. O., Dzhanibekova L. R., Dzhanibekova A. R., Beganskaya N. S. Longitudinal Systolic Deformation and Postsystolic Shortening of The Left Ventricular Myocardium at Rest and During Stress Echocardiography as Predictors of Coronary Artery Stenosis in Patients With a Moderate Pre-Test Probability of Coronary Artery Disease. Kardiologiia. 2026;66(7):56–64. [Russian: Мазур Е. С., Мазур В. В., Николаева Т. О., Джанибекова Л. Р., Джанибекова А. Р., Беганская Н. С. Продольная систолическая деформация и постсистолическое укорочение миокарда левого желудочка в покое и при стресс-эхокардиографии как предикторы стеноза коронарных артерий у пациентов с умеренной претестовой вероятностью ишемической болезни сердца. Кардиология. 2026;66(7):56–64].
Автор для переписки	Мазур Вера Вячеславовна. E-mail: vera.v.mazur@gmail.com

Введение

Согласно действующим клиническим рекомендациям [1], первым специфическим исследованием, которое следует провести пациенту с умеренной претестовой вероятностью (ПТВ) ишемической болезни сердца (ИБС), является эхокардиография с физической нагрузкой – ФН (стресс-эхокардиография, стресс-ЭхоКГ), позволяющая выявить нарушения локальной сократимости (НЛС) левого желудочка (ЛЖ), обусловленные транзиторной ишемией миокарда. Согласно стандартному протоколу выполнения стресс-ЭхоКГ [2], сократимость миокарда оценивается визуально («на глаз»), что вносит значительную долю субъективизма в оценку результатов исследования. По мнению экспертов Американского общества эхокардиографии и Европейской ассоциации по визуализации сердечно-сосудистой системы [3], повысить информативность стресс-ЭхоКГ позволит внедрение в протокол исследования объективных методов оценки сократимости миокарда, основанных на измерении его продольной деформации (стрейна) в течение кардиоцикла (speckle tracking-ЭхоКГ – sp-ЭхоКГ).

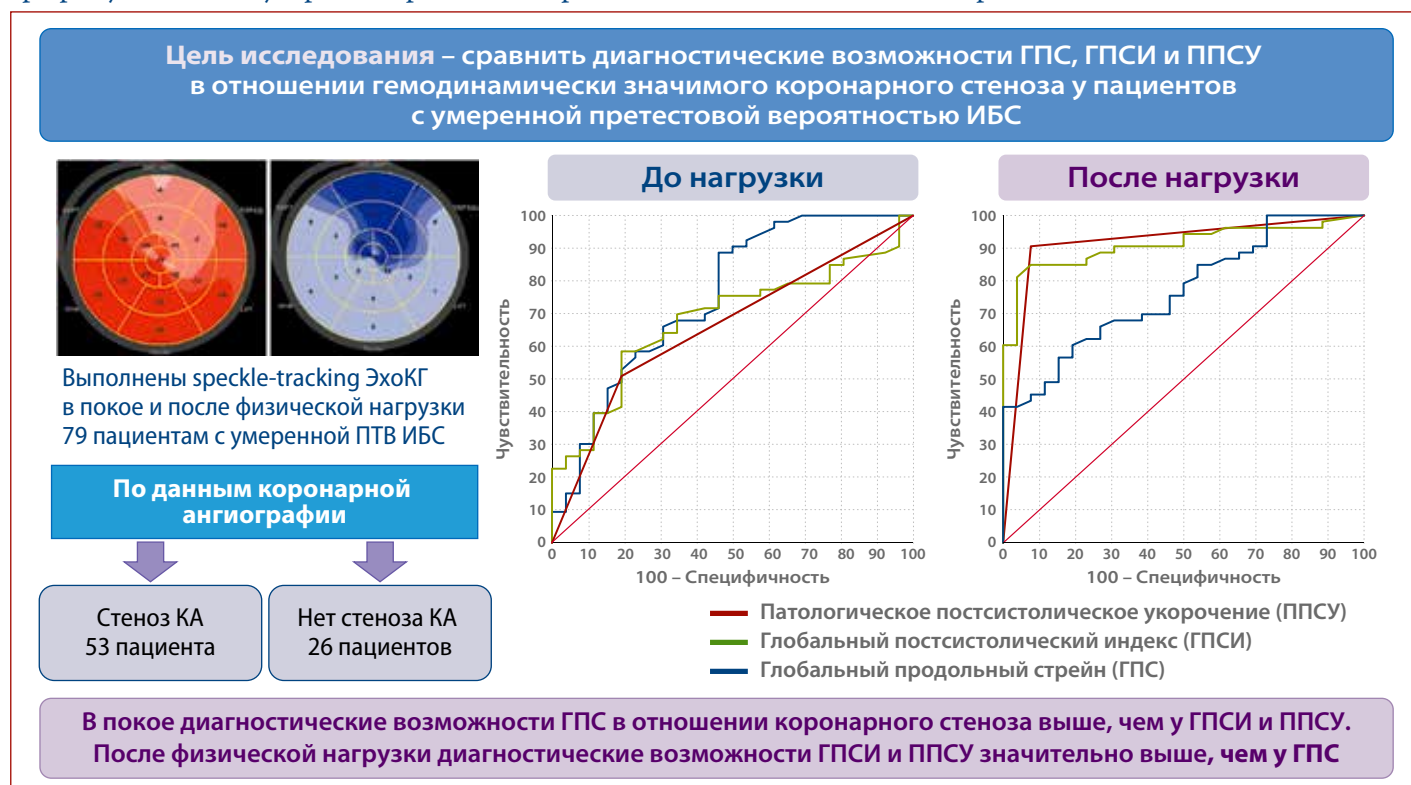
Этот метод позволяет получить количественную оценку деформации любого участка миокарда, которую он претерпевает в течение кардиоцикла. Наиболее широкое распространение получило определение продольной систолической деформации (стрейна) в 17 сегментах ЛЖ с последующим расчетом глобального продольного стрей-

на (ГПС), т.е. среднего арифметического полученных значений. ГПС отражает сократительную способность миокарда ЛЖ в целом и обладает большей чувствительностью и воспроизводимостью при оценке систолической функции ЛЖ по сравнению с фракцией выброса ЛЖ [4]. В связи с этим определение ГПС рекомендовано для контроля за состоянием систолической функции ЛЖ при использовании кардиотоксических лекарственных средств [5, 6].

sp-ЭхоКГ позволяет не только количественно оценить сократительную способность сердечной мышцы в различных ее участках, но и выявить сегменты, сокращение которых завершается после окончания систолы ЛЖ в целом. Этот феномен, получивший название постсистолического укорочения (ПСУ), встречается как у здоровых лиц, так и при целом ряде заболеваний [7]. Для количественной оценки ПСУ используется постсистолический индекс (ПСИ), который рассчитывается для каждого сегмента ЛЖ и в норме не превышает 20%. Более высокие значения ПСИ указывают на патологическое ПСУ (ППСУ) того или иного сегмента ЛЖ [7]. Для оценки выраженности ПСУ в целом рассчитывается глобальный постсистолический индекс (ГПСИ), равный среднему значению ПСИ в 17 сегментах ЛЖ.

В литературе представлены результаты большого числа исследований, свидетельствующие о возможности использования показателей деформации миокарда ЛЖ для оценки вероятности выявления при коронарографии (КГ)

Центральная иллюстрация. Продольный систолический стрейн и постсистолическое укорочение миокарда левого желудочка в покое и при стресс-эхокардиографии как предикторы стеноза коронарных артерий у пациентов с умеренной претестовой вероятностью ишемической болезни сердца



гемодинамически значимого коронарного стеноза [8–11]. Однако остается ряд вопросов, без решения которых включение в протокол стресс-ЭхоКГ показателей деформации миокарда ЛЖ представляется невозможным [2, 3]. В частности, неясно, какие из показателей деформации миокарда обладают наибольшими диагностическими возможностями в отношении коронарного стеноза?

Цель

Сравнение диагностических возможностей оценки ГПС, ГПСИ и ППСУ в выявлении гемодинамически значимого коронарного стеноза у пациентов с умеренной ПТВ ИБС.

Материал и методы

Обсервационное одноцентровое одномоментное исследование одобрено этическим комитетом и выполнено в клинике ФГБОУ ВО Тверской ГМУ МЗ России в соответствии со стандартами надлежащей клинической практики (Good Clinical Practice) и принципами Хельсинкской декларации. Все включавшиеся в исследование пациенты давали письменное информированное согласие на использование результатов их обследования в научных целях.

Критериями включения в исследование были:

- 1) наличие у пациента умеренной ПТВ обструктивной ИБС;
- 2) выполнение пациентом стресс-ЭхоКГ с регистрацией до и после нагрузочной пробы трех апикальных позиций, необходимых для анализа *sp*-ЭхоКГ;
- 3) выполнение пациенту инвазивной КГ не позднее, чем через 2 мес. после проведения стресс-ЭхоКГ.

Критериями исключения служили:

- 1) выявление при КГ гемодинамически значимых стенозов более чем в одном сосудистом регионе;
- 2) невозможность выполнить анализ файлов в режиме *sp*-ЭхоКГ из-за неприемлемого качества визуализации, частой желудочковой экстрасистолии или фибрилляции предсердий.

Включение пациентов в исследование проводили с сентября 2023 г. по март 2025 г. За это время стресс-ЭхоКГ была выполнена 257 больным, и в 78 (30,4%) случаях она оказалась положительной. Всем пациентам с положительным результатом стресс-ЭхоКГ была выполнена КГ, после чего они были включены в исследование. Кроме того, в исследование вошли 19 пациентов с отрицательным результатом нагрузочной пробы, которым была выполнена неинвазивная компьютерная ангиография коронарных артерий (КА), а после нее – инвазивная КГ. Из исследования были исключены 11 пациентов с многососудистым поражением коронарных артерий и 7 пациентов, у которых не удалось проанализировать записанные файлы в режиме *sp*-ЭхоКГ. В итоге в настоящее исследование вошли 79 паци-

ентов, которые по результатам КГ были разделены на две группы: в одну из них вошли 53 пациента с гемодинамически значимым коронарным стенозом, в другую – 26 пациентов без гемодинамически значимого поражения коронарных артерий.

Учитывали пол и возраст пациентов, наличие сопутствующей артериальной гипертензии, сахарного диабета и ожирения, а также атеросклероза брахиоцефальных и/или периферических артерий по данным ультразвукового сканирования сосудов.

Стресс-ЭхоКГ проводили через 3 суток после отмены бета-адреноблокаторов и выполняли в соответствии с действующими российскими и международными рекомендациями [2] на ультразвуковой системе Vivid S70 («GE», США). В качестве ФН использовали велоэргометрию в положении сидя с начальной нагрузкой в 25 Вт в течение 3 мин с последующим увеличением на 25 Вт каждые 3 мин до достижения целевой частоты сердечных сокращений (85% от максимальной) или появления критериев прекращения ФН. Критерием положительного результата стресс-ЭхоКГ было обнаружение НЛС миокарда ЛЖ.

До начала и не позже 2 мин после завершения нагрузки на велоэргометре выполняли эхокардиографическое исследование с частотой смены кадров не менее 60 в секунду и записью на жесткий диск системы для последующего анализа. Продольную деформацию миокарда ЛЖ измеряли в апикальных двухкамерной, четырехкамерной позициях и апикальной позиции по длинной оси ЛЖ путем отслеживания эндокардиальной границы ЛЖ в конце систолы. Для этого видеоклипы, полученные в данных позициях, автоматически останавливали в конце систолы и проводили оконтуривание границ эндокарда с формированием региона интереса ЛЖ. При необходимости для улучшения качества оценки оператор вручную корректировал выбор границы эндокарда и общую ширину региона интереса. Наряду со стандартным протоколом оценки показателей продольной деформации в 17 сегментах миокарда ЛЖ проводили оценку сегментарного ПСИ, т.е. процентного отношения разности пикового постсистолического стрейна и максимального систолического стрейна к пиковому постсистолическому стрейну. Значения ПСИ, превышающие 20%, считали патологическими [7]. В исследовании учитывали выявление ППСУ хотя бы в одном из 17 сегментов. На основании анализа показателей сегментарной продольной деформации и ПСИ миокарда ЛЖ в трех упомянутых проекциях автоматически рассчитывали ГПС и ГПСИ.

Анатомическое строение КА у каждого пациента не было известно до проведения стресс-ЭхоКГ, все ангиографические исследования выполняли после стресс-ЭхоКГ. КГ проводили на ангиографической системе Philips Allura Xper. При анализе результатов КГ учитывали сужение ар-

терий по площади, стеноз КА считали анатомически значимым при сужении $\geq 70\%$ (обструктивное поражение). Гемодинамически значимый коронарный атеросклероз при КГ был выявлен у 53 из 79 включенных в исследование пациентов: у 23 (43,4%) – стеноз передней межжелудочковой ветви (ПМЖВ) левой КА, у 16 (30,2%) – огибающей ветви (ОВ) левой КА и у 14 (26,4%) – правой коронарной артерии (ПКА).

Для статистического анализа полученных данных использовали приложение MedCalc® Statistical Software version 22.006 («MedCalc Software Ltd», Бельгия). Поскольку распределение большинства количественных переменных отличалось от нормального, рассчитывали медианы и межквартильные интервалы – Me [Q1; Q3]. Для оценки межгрупповых различий использовали критерий Манна–Уитни. Сравнение выборочных долей проводили с помощью критерия хи-квадрат, а при недостаточном числе наблюдений в ячейках четырехпольной таблицы – с помощью точного двустороннего критерия Фишера. Для выявления связи между количественными переменными и вероятностью выявления стеноза выполняли ROC-анализ. Силу связи оценивали по площади под кривой ошибок (AUC), отрезная точка и ее характеристики (чувствительность и специфичность) соответствовали максимальному значению индекса Юдена. При расчете диагностической ценности критериев распространенность коронарного стеноза у пациентов с умеренной ПТВ ИБС принимали равной 32,5% (среднее значение границ умеренной ПТВ). Результаты анализа признавали статистически значимыми при вероятности нулевой гипотезы менее 5% ($p < 0,05$). Для оценки внутри- и межоператорской согласованности оценок показателей деформации миокарда 25 случайно выбранных файлов DICOM с записью исследования были повторно обработаны основным оператором и переданы для анализа двум независимым экспертам. Полученные результаты обработаны по методу Бленда–Альтмана.

Результаты

Как следует из представленных в таблице 1 данных, возраст включенных в исследование пациентов не различался, мужчин среди них было почти в 2 раза больше, чем женщин. У большинства пациентов отмечалась артериальная гипертензия, у 59% – атеросклероз брахиоцефальных или периферических артерий, у каждого пятого – сахарный диабет и/или ожирение.

Больные с гемодинамически значимым коронарным стенозом и без такового были сопоставимы по возрасту и половому составу, распространенности ожирения и некоронарного атеросклероза. Однако такие факторы риска развития ИБС, как артериальная гипертензия и сахарный диабет, у больных с коронарным стенозом встречались значительно чаще, чем у больных группы сравнения.

Таблица 1. Клиническая характеристика обследованных пациентов

Показатель	Все больные (n=79)	Стеноза КА нет (n=26)	Стеноз КА есть (n=53)	p
Мужчины, n (%)	52 (65,8)	14 (53,8)	38 (71,7)	0,1183
Возраст, годы	62,0 [57,0; 66,0]	59,0 [56,0; 68,0]	63,0 [57,0; 66,0]	0,4905
АГ, n (%)	66 (83,5)	18 (69,2)	48 (90,6)	0,0241
СД, n (%)	19 (24,1)	2 (7,7)	17 (32,1)	0,0236
Ожирение, n (%)	22 (27,8)	6 (23,1)	16 (30,2)	0,5103
Некоронарный атеросклероз, n (%)	41 (51,9)	10 (38,5)	31 (58,5)	0,0962
Положительная стресс-ЭхоКГ, n (%)	60 (75,9)	10 (38,5)	50 (94,3)	<0,0001
ГПС в покое, %	19,4 [16,8; 21,8]	21,9 [19,3; 22,8]	18,8 [16,1; 20,6]	0,0003
ГПС после нагрузки, %	22,4 [17,4; 24,8]	24,3 [22,3; 27,6]	20,3 [14,6; 24,1]	0,0001
ГПСИ в покое, %	2,59 [1,07; 4,26]	1,62 [1,00; 2,76]	2,94 [1,69; 5,84]	0,0091
ГПСИ после нагрузки, %	4,82 [1,61; 8,76]	1,35 [0,35; 2,76]	7,88 [4,69; 10,5]	<0,0001
ППСУ в покое, n (%)	32 (40,5)	5 (19,2)	27 (50,9)	0,0073
ППСУ после нагрузки, n (%)	50 (63,3)	2 (7,7)	48 (90,6)	<0,0001

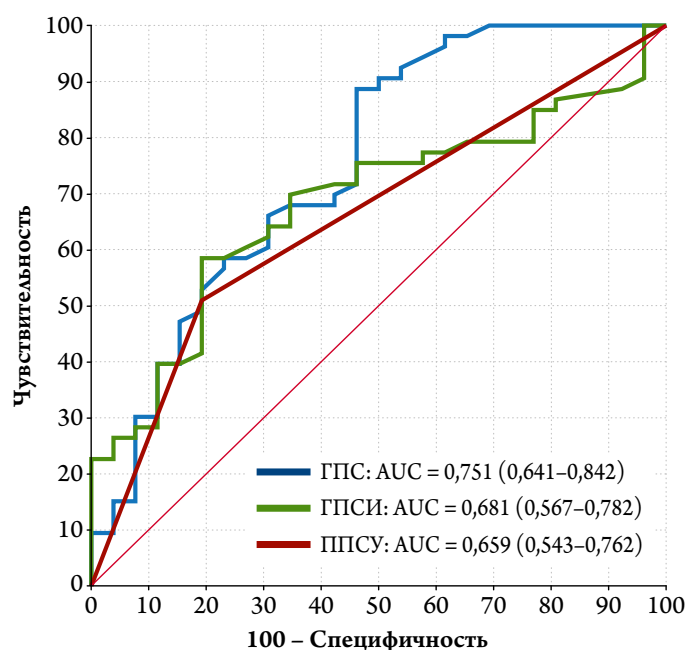
Данные представлены в виде медианы и межквартильного интервала – Me [Q1; Q3] или абсолютного и относительного числа носителей признака – n (%). КА – коронарная артерия; АГ – артериальная гипертензия; СД – сахарный диабет; стресс-ЭхоКГ – стресс-эхокардиография; ГПС – глобальный продольный стрейн; ГПСИ – глобальный постсистолический индекс; ППСУ – патологическое постсистолическое укорочение.

Результат стресс-ЭхоКГ был положительным не только у большинства больных с коронарным стенозом, но и у значительного числа пациентов без поражения КА. Вследствие этого чувствительность положительного результата стресс-ЭхоКГ в отношении стеноза КА оказалась высокой – 0,943 (95% доверительный интервал – ДИ 0,846–0,981), а специфичность невысокой – 0,615 (95% ДИ 0,425–0,776).

Как до ФН, так и после нее у больных с коронарным стенозом по сравнению с группой без поражения КА в среднем был ниже ГПС, выше ГПСИ и значительно чаще отмечалось ППСУ. Таким образом, все перечисленные показатели потенциально могут служить неинвазивными маркерами гемодинамически значимого коронарного стеноза.

На рисунке 1 представлены ROC-кривые показателей деформации миокарда до нагрузки как предикторов выявления коронарного стеноза. Как следует из представленных данных, наиболее тесно с вероятностью выявления коронарного стеноза связан ГПС. Чувствительность критерия ГПС $\leq 21,7\%$ в отношении коронарного стеноза равна 0,887 (95% ДИ 0,770–0,957), специфич-

Рисунок 1. ROC-кривые показателей деформации миокарда левого желудочка в покое как предикторов выявления коронарного стеноза

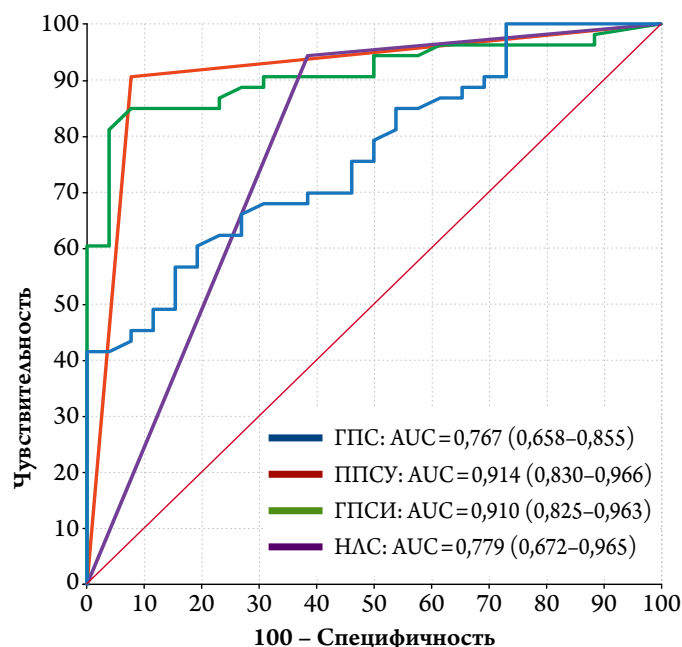


ГПС – глобальный продольный стрейн; ГПСИ – глобальный постсистолический индекс; ППСУ – патологическое постсистолическое укорочение.

ность – 0,538 (95% ДИ 0,334–0,734), прогностическое значение положительного и отрицательного результата – 0,475 (95% ДИ 0,379–0,574) и 0,894 (95% ДИ 0,798–0,948) соответственно. Таким образом, ГПС в покое более 21,7% позволяет с вероятностью, близкой к 90%, исключить наличие гемодинамически значимого коронарного стеноза у пациентов с умеренной ПТВ ИБС.

Значительно более тесную связь с вероятностью выявления коронарного стеноза демонстрируют показатели деформации миокарда после ФН (рис. 2). При этом AUC для ППСУ и ГПСИ между собой не различались ($p=0,8867$) и статистически значимо превосходили AUC для НЛС ($p=0,0416$ и $p=0,0409$) и ГПС ($p=0,0409$ и $p=0,0046$), которые между собой также не различались ($p=0,8640$). Отметим, что AUC для ППСУ и ГПСИ после ФН были суще-

Рисунок 2. ROC-кривые для нарушений локальной сократимости (НЛС) и показателей деформации миокарда левого желудочка после физической нагрузки как предикторов выявления коронарного стеноза



ГПС – глобальный продольный стрейн; ГПСИ – глобальный постсистолический индекс; ППСУ – патологическое постсистолическое укорочение; НЛС – нарушения локальной сократимости.

ственно больше, чем в покое ($p<0,0001$ и $p=0,0003$), в то время как AUC для ГПС в покое и после нагрузки не различались ($p=0,8061$).

В таблице 2 представлены характеристики неинвазивных критериев диагностики коронарного стеноза по наличию ППСУ и значениям ГПСИ и ГПС после ФН. Для сравнения представлены характеристики положительного результата стресс-ЭхоКГ и комбинированного критерия, т.е. выявления после ФН как НЛС, так и ППСУ.

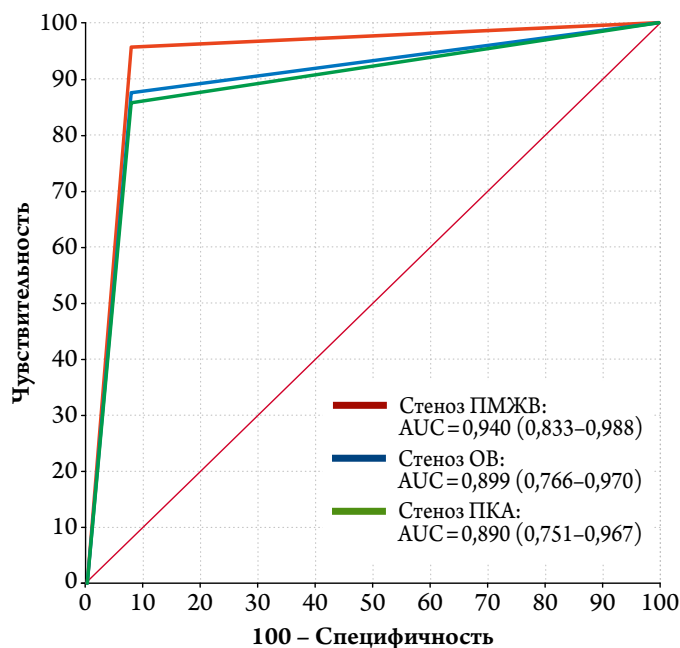
Из представленных данных следует, что диагностическое значение выявления ППСУ после ФН или повышения ГПСИ выше 3,47% превосходит диагностическое значение выявления НЛС и снижения ГПСС до 22,9% и менее. Однако наилучшими диагностическими характе-

Таблица 2. Характеристики неинвазивных критериев диагностики коронарного стеноза

Критерий	Se (95% ДИ)	Sp (95% ДИ)	PPV (95% ДИ)	NPV (95% ДИ)
ГПС $\leq 22,9\%$	0,698 (0,557–0,817)	0,615 (0,406–0,798)	0,466 (0,360–0,575)	0,809 (0,712–0,879)
ГПСИ $> 3,47\%$	0,811 (0,680–0,906)	0,961 (0,804–99,9)	0,842 (0,722–0,916)	0,927 (0,863–0,963)
Выявлено ППСУ	0,906 (0,793–0,969)	0,923 (0,749–0,991)	0,850 (0,735–0,921)	0,953 (0,895–0,980)
Выявлены НЛС	0,943 (0,843–0,988)	0,615 (0,406–0,798)	0,542 (0,440–0,639)	0,958 (0,883–0,985)
Выявлены НЛС и ППСУ	0,849 (0,724–0,933)	1,000 (0,868–1,000)	1,000 (0,921–1,000)	0,932 (0,872–0,965)

Данные представлены в виде медианы и межквартильного интервала – Me [Q1; Q3]. Se (sensitivity) – чувствительность; Sp (specificity) – специфичность; PPV (positive predictive value) – прогностическая ценность положительного результата; NPV (negative predictive value) – прогностическая ценность отрицательного результата; ДИ – доверительный интервал; ГПС – глобальный продольный стрейн; ГПСИ – глобальный постсистолический индекс; ППСУ – патологическое постсистолическое укорочение; НЛС – нарушение локальной сократимости.

Рисунок 3. ROC-кривые для патологического постсистолического укорочения после физической нагрузки как предиктора выявления коронарного стеноза разной локализации



ПМЖВ – передняя межжелудочковая ветвь;
ОВ – огибающая ветвь; ПКА – правая коронарная артерия.

ристикой обладает комбинированный критерий, т.е. выявление после нагрузки как НЛС, так и ППСУ, для которого AUC=0,925 (95% ДИ 0,843–0,972).

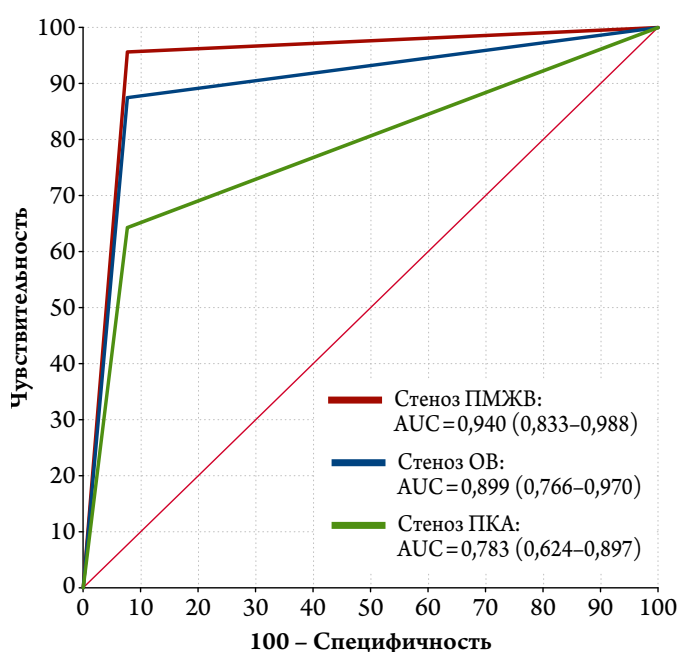
Как следует из данных, представленных на рисунке 3, диагностические возможности ППСУ в отношении стеноза разных КА практически не различаются, в то время как диагностические возможности критерия ГПСИ >3,47% в отношении стеноза ПКА существенно ниже, чем в отношении стеноза ПМЖВ или ОВ (рис. 4).

Для критерия ГПС ≤22,9% различия диагностических возможностей в отношении стенозов КА разной локализации оказались еще более выраженными (рис. 5), причем связь этого критерия со стенозом ОВ оказалась на грани статистической значимости ($p=0,0496$), а со стенозом ПКА – статистически незначимой ($p=0,7939$).

Появление ППСУ после ФН позволяет не только оценить вероятность развития, но и локализацию коронарного стеноза. Коэффициент согласия (каппа Коэна) оценки наличия и локализации стеноза по ППСУ с результатами КГ равен 0,827 (95% ДИ 0,711–0,942), что соответствует отличному согласию по классификации Флейса. Для сравнения укажем, что коэффициент согласия результатов визуальной оценки НЛС с данными КГ равен 0,669 (95% ДИ 0,528–0,809), и это указывает на их удовлетворительное согласие.

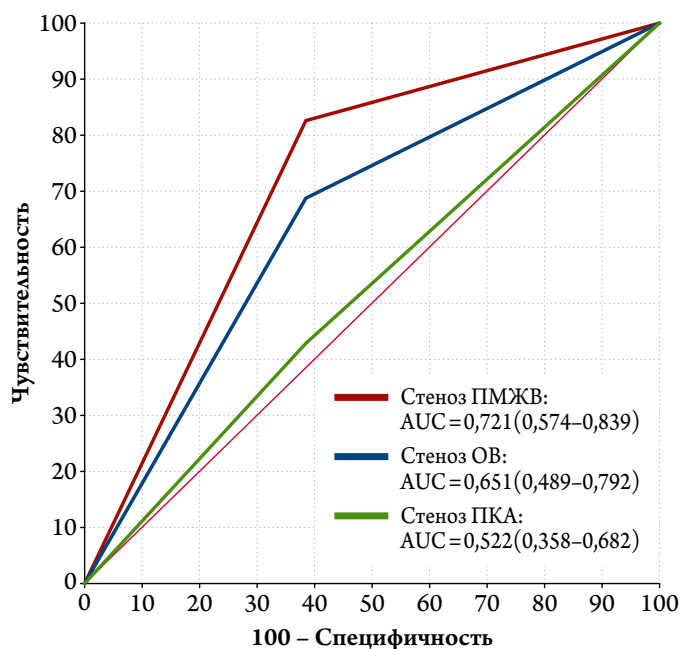
При оценке внутриоператорской согласованности показателей деформации миокарда средняя разность внутри-

Рисунок 4. ROC-кривые для глобального постсистолического индекса после физической нагрузки >3,47% как предиктора выявления коронарного стеноза разной локализации



ПМЖВ – передняя межжелудочковая ветвь;
ОВ – огибающая ветвь; ПКА – правая коронарная артерия.

Рисунок 5. ROC-кривые для глобального продольного стрейна после физической нагрузки ≤22,9% как предиктора выявления коронарного стеноза разной локализации



ПМЖВ – передняя межжелудочковая ветвь;
ОВ – огибающая ветвь; ПКА – правая коронарная артерия.

операторских оценок ГПС составила 0,148 процентного пункта (п.п.), что составляет 0,73% от среднего значения измеряемого показателя и статистически значимо не

отличается от нуля ($p=0,1264$). Средняя разность меж-операторских оценок ГПС равнялась $-0,236$ п.п. ($1,09\%$; $p=0,2767$). Для ГПСИ средняя разность внутриоператорских оценок составила $0,208$ п.п. ($3,54\%$; $p=0,0134$), меж-операторских – $0,267$ п.п. ($6,65\%$; $p<0,0001$). Результаты анализа позволили признать как внутри-, так и межоператорскую согласованность результатов оценки ГПС хорошей, а ГПСИ – удовлетворительной.

Обсуждение

Результаты настоящего исследования, касающиеся диагностических возможностей ГПС в покое и после ФН, в целом совпадают с результатами ранее выполненных исследований. Так, по данным систематического обзора I. B. Norum и соавт. [12], различия ГПС в покое между больными со стенозом КА ($n=397$) и без такового ($n=381$) составляют 2 п.п. ($17,2\pm 2,6$ против $19,2\pm 2,8\%$, $p<0,0001$), AUC варьирует от 0,68 до 0,80, а пороговый уровень для диагностики гемодинамически значимого стеноза – от 17,4 до 19,7% с чувствительностью от 51 до 81% и специфичностью от 58% до 81%. По нашим данным, различия ГПС в покое между пациентами с гемодинамически значимым стенозом КА и без такового составляют 2,5 п.п. ($18,8\%$ против $21,9\%$), AUC=0,751, а чувствительность и специфичность для ГПСС $\leq 21,7\%$ равны 88,7 и 53,8% соответственно. Однако в литературе встречаются как более низкие, так и более высокие оценки диагностических возможностей ГПС в покое. Например, в исследовании А. И. Степановой и соавт. [9] ГПС в покое не продемонстрировал статистически значимой связи с выраженным коронарным атеросклерозом (AUC=0,63; $p=0,12$), а в исследовании S. Qin и соавт. [13] эта связь оказалась сильной (AUC=0,973).

Достаточно противоречивы и представленные в литературе данные о диагностических возможностях ГПС после ФН. Так, в исследовании А. И. Степановой и соавт. [9] ГПС после нагрузки продемонстрировал более высокие диагностические возможности, чем в покое: AUC=0,63 (ДИ 0,47–0,73) и 0,76 (95% ДИ 0,63–0,89). А по данным S. I. Farag и соавт. [14], диагностические возможности ГПС в покое и после нагрузки практически одинаковы: AUC=0,827 (95% ДИ 0,732–0,921) и 0,837 (95% ДИ 0,748–0,927) соответственно. В настоящем исследовании также не выявлено статистически значимых различий в диагностических возможностях ГПС в покое и после ФН (AUC=0,751 и 0,767).

Можно полагать, что расхождение оценок диагностических возможностей ГПС, полученных в различных исследованиях, связано с тем, что снижение ГПС не является специфичным признаком ишемии миокарда. Так, в исследовании М. J. Mansour и соавт. [15] результаты стресс-ЭхоКГ с использованием технологии отслеживания пятен серой

шкалы (спекл-трекинг) сопоставлялись не только с полученными при компьютерной КТ данными о выраженности коронарного атеросклероза, но и с наличием у пациента сопутствующих заболеваний и факторов риска сердечно-сосудистых заболеваний. Оказалось, что более низкие значения ГПС в покое и при нагрузке отмечаются не только у лиц с выраженным коронарным атеросклерозом, но и у лиц с множественными сопутствующими заболеваниями и факторами риска, что, по мнению авторов, указывает на субклиническую дисфункцию ЛЖ, вызванную этими состояниями.

Отметим также, что, по данным настоящего исследования, диагностические возможности ГПС зависят от локализации стеноза. Для критерия ГПС после нагрузки $\leq 22,9\%$ AUC при стенозе ПМЖВ равна 0,721 ($p=0,0005$), при стенозе ОВ – 0,651 ($p=0,0496$), а при стенозе ПКА – 0,522 ($p=0,7939$). Это означает, что чем больше в обследованной выборке доля лиц со стенозом ПМЖВ, тем выше будет оценка диагностических возможностей ГПС, а чем больше доля лиц со стенозом ПКА, тем эта оценка будет ниже.

Таким образом, оценка ГПС как чувствительного маркера нарушения глобальной систолической функции ЛЖ [4, 6] едва ли сможет стать эффективным средством диагностики транзиторной ишемии миокарда. По мнению М. J. Mansour и соавт. [15], высокие значения ГПС позволяют исключить гемодинамически значимый стеноз, но низкие значения ГПС не дают оснований для его диагностики. Результаты настоящего исследования полностью согласуются с такой точкой зрения.

Связь ПСУ с нарушением кровоснабжения миокарда показана как в экспериментальных [10, 16], так и в клинических исследованиях с использованием стресс-ЭхоКГ с добутаминовой нагрузкой или ФН [8, 10, 17, 18]. По данным E. Rumbinaite и соавт. [8], у пациентов с умеренной ПТВ ИБС в условиях покоя ГПСИ при наличии и в отсутствие гемодинамически значимого коронарного стеноза статистически значимо не различались и составляли $4,07\pm 1,37$ и $4,59\pm 3,04\%$ соответственно ($p=0,32$). На фоне добутаминовой нагрузки соответствующие значения увеличились до $10,46\pm 3,42$ и $5,23\pm 1,96\%$ соответственно ($p=0,02$). AUC для ГПСИ при нагрузке составила 0,724 ($p=0,04$), чувствительность и специфичность критерия «ГПСИ $>6,46\%$ » – 70 и 74%. В настоящее исследование также вошли пациенты с умеренной ПТВ ИБС, но стресс-ЭхоКГ проводилась не с фармакологической, а с ФН. При этом как при наличии стеноза КА, так и в его отсутствие значения ГПСИ в покое (2,94 и 1,62%), и после нагрузки (7,88 и 1,35%) были ниже, чем в работе E. Rumbinaite и соавт., а диагностические возможности ГПСИ после нагрузки существенно выше: AUC=0,910 (95% ДИ 0,825–0,963),

чувствительность и специфичность критерия ГПСИ >3,47% – 81,1 и 96,1%.

В работе А. И. Степановой и соавт. [17] значения ГПСИ до и после ФН на тредмиле сопоставлялись с оценкой выраженности коронарного атеросклероза по индексу Gensini [19, 20]. У пациентов с выраженным коронарным атеросклерозом (индекс Gensini ≥ 35) и без такового (индекс Gensini 0) значения ГПСИ в покое (2,7 [1,9; 5,2] и 2,0 [0,9; 4,1] %) и после ФН (8,9 [3,8; 10,7] и 3,8 [2,2; 6,8] %) оказались сопоставимыми со значениями, полученными в настоящем исследовании, а оценка диагностических возможностей ГПСИ – с оценкой Е. Rumbinaite и соавт.: AUC=0,74 (95% ДИ 0,63–0,85), а чувствительность и специфичность критерия «ГПСИ после нагрузки >4,9%» – 75 и 61% [8].

Таким образом, в настоящем исследовании ГПСИ после ФН продемонстрировал значительно более тесную связь с гемодинамически значимым коронарным стенозом, чем в рассмотренных выше работах. Отметим также, что по данным А. И. Степановой и соавт. [17], диагностические возможности ГПС и ГПСИ практически одинаковы, в то время как по данным настоящего исследования ГПСИ по своим диагностическим возможностям в отношении коронарного стеноза значительно превосходит ГПС.

Такие же высокие диагностические возможности продемонстрированы в настоящем исследовании и для ППСУ. Причем диагностические возможности этого критерия, в отличие от ГПС и ГПСИ, практически не зависят от локализации коронарного стеноза. Кроме того, ППСУ позволяет оценить и локализацию коронарного стеноза, причем результаты такой оценки согласуются с данными КГ. Наконец, для выявления ППСУ необходимо всего лишь оценить представленные на цветовой карте локальные значения ПСИ. Все это позволяет рассматривать ППСУ в качестве оптимального критерия неинвазивной диагностики гемодинамически значимого коронарного стеноза.

Разумеется, результаты небольшого одноцентрового исследования не могут служить основанием для далеко идущих выводов, но, безусловно, свидетельствуют о необходимости дальнейшего изучения диагностических возможностей как ГПСИ, так и ППСУ.

Ограничения исследования

Включенные в исследование пациенты представляют собой смещенную выборку относительно генеральной совокупности пациентов с умеренной ПТВ ИБС, поскольку,

во-первых, из исследования исключались пациенты с гемодинамически значимым стенозом двух или трех КА, во-вторых, пациенты с отрицательным результатом стресс-ЭхоКГ включались в исследование лишь в случае выявления при компьютерной КГ показаний к проведению инвазивной КГ. Гемодинамическая значимость выявленных при КГ стенозов оценивалась рентгенхирургом, но не была верифицирована с помощью определения фракционного резерва кровотока.

Ограниченное число обследованных не позволило валидизировать на независимой когорте полученные в исследовании диагностические критерии гемодинамически значимого коронарного стеноза.

Заключение

У пациентов с умеренной претестовой вероятностью ишемической болезни сердца значения глобального продольного стрейна в покое более 21,7% позволяют с вероятностью, близкой к 90%, исключить наличие гемодинамически значимого коронарного стеноза. Глобальный постсистолический индекс и патологическое постсистолическое укорочение в условиях физического покоя слабо связаны с вероятностью выявления при коронарографии гемодинамически значимого коронарного стеноза. После физической нагрузки диагностические возможности глобального продольного стрейна остаются практически такими же, как в покое: глобальный продольный стрейн после нагрузки, превышающий 22,9%, позволяет с близкой к 80% вероятностью исключить наличие коронарного стеноза. Глобальный постсистолический индекс после нагрузки более 3,47% или выявление патологического постсистолического укорочения позволяют с вероятностью, близкой к 85%, прогнозировать наличие гемодинамически значимого коронарного стеноза. При сочетании визуально выявленных нарушений локальной сократимости с патологическим постсистолическим укорочением вероятность выявления при коронарографии гемодинамически значимого стеноза приближается к 100%.

Финансирование

Отсутствует.

Конфликт интересов

Не заявлен.

Статья поступила 25.12.2025

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Barbarash O. L., Karpov Yu. A., Panov A. V., Akchurin R. S., Alekhan B. G., Alekhin M. N. et al. 2024 Clinical practice guidelines for Stable coronary artery disease. Russian Journal of Cardiology. 2024;29(9):166–229. [Russian: Барбараш О. А., Карпов Ю. А., Па-

- нов А. В., Акчури Р. С., Алекин Б. Г., Алехин М. Н. и др. Стабильная ишемическая болезнь сердца. Клинические рекомендации 2024. Российский кардиологический журнал. 2024;29(9):166–229]. DOI: 10.15829/1560-4071-2024-6110

2. Pellikka PA, Arruda-Olson A, Chaudhry FA, Chen MH, Marshall JE, Porter TR et al. Guidelines for Performance, Interpretation, and Application of Stress Echocardiography in Ischemic Heart Disease: From the American Society of Echocardiography. *Journal of the American Society of Echocardiography*. 2020;33(1):1–41.e8. DOI: 10.1016/j.echo.2019.07.001
3. Thomas JD, Edvardsen T, Abraham T, Appadurai V, Badano L, Banchs J et al. Clinical Applications of Strain Echocardiography: A Clinical Consensus Statement From the American Society of Echocardiography Developed in Collaboration With the European Association of Cardiovascular Imaging of the European Society of Cardiology. *Journal of the American Society of Echocardiography*. 2025;38(11):985–1020. DOI: 10.1016/j.echo.2025.07.007
4. Yingchoncharoen T, Agarwal S, Popović ZB, Marwick TH. Normal Ranges of Left Ventricular Strain: A Meta-Analysis. *Journal of the American Society of Echocardiography*. 2013;26(2):185–91. DOI: 10.1016/j.echo.2012.10.008
5. Galyavich A. S., Tereshchenko S. N., Uskach T. M., Ageev F. T., Aronov D. M., Arutyunov G. P. et al. 2024 Clinical practice guidelines for Chronic heart failure. *Russian Journal of Cardiology*. 2024;29(11):251–349. [Russian: Галявич А. С., Терещенко С. Н., Ускач Т. М., Агеев Ф. Т., Аронов Д. М., Арутюнов Г. П. и др. Хроническая сердечная недостаточность. Клинические рекомендации 2024. Российский кардиологический журнал. 2024;29(11):251–349]. DOI: 10.15829/1560-4071-2024-6162
6. Thavendiranathan P, Poulin F, Lim K-D, Plana JC, Woo A, Marwick TH. Use of myocardial strain imaging by echocardiography for the early detection of cardiotoxicity in patients during and after cancer chemotherapy: a systematic review. *Journal of the American College of Cardiology*. 2014;63(25 Pt A):2751–68. DOI: 10.1016/j.jacc.2014.01.073
7. Brainin P, Biering-Sørensen SR, Møgelvang R, de Knecht MC, Olsen FJ, Galatius S et al. Post-systolic shortening: normal values and association with validated echocardiographic and invasive measures of cardiac function. *The International Journal of Cardiovascular Imaging*. 2019;35(2):327–37. DOI: 10.1007/s10554-018-1474-2
8. Rumbinaite E, Karuzas A, Verikas D, Kazakauskaitė E, Venckus V, Jakuška P et al. Detection of functionally significant coronary artery disease: Role of regional post systolic shortening. *Journal of Cardiovascular Echography*. 2020;30(3):131–9. DOI: 10.4103/jcecho.jcecho_55_19
9. Stepanova A. I., Radova N. F., Alekhin M. N. Speckle Tracking Stress Echocardiography on Treadmill in Assessment of the Functional Significance of the Degree of Coronary Artery Disease. *Kardiologiia*. 2021;61(3):4–11. [Russian: Степанова А. И., Радова Н. Ф., Алехин М. Н. Спекл-трекинг стресс-эхокардиография с использованием тредмил-теста в оценке функциональной значимости степени стеноза коронарных артерий. Кардиология. 2021;61(3):4–11]. DOI: 10.18087/cardio.2021.3.n1462
10. Brainin P, Hoffmann S, Fritz-Hansen T, Olsen FJ, Jensen JS, Biering-Sørensen T. Usefulness of Postsystolic Shortening to Diagnose Coronary Artery Disease and Predict Future Cardiovascular Events in Stable Angina Pectoris. *Journal of the American Society of Echocardiography*. 2018;31(8):870–879.e3. DOI: 10.1016/j.echo.2018.05.007
11. Shvets D. A., Povetkin S. V. Limitations of Diagnosis of Ischemic Left Ventricular Dysfunction Using the Values of Strain, Twist and Untwist in Patients With Myocardial Infarction of Various Localization. *Kardiologiia*. 2024;64(3):55–62. [Russian: Шве́ц Д. А., Поветкин С. В. Возможности диагностики ишемической дисфункции левого желудочка с помощью значений деформации, показателей вращения у больных инфарктом миокарда различной локализации. Кардиология. 2024;64(3):55–62]. DOI: 10.18087/cardio.2024.3.n2253
12. Norum IB, Ruddox V, Edvardsen T, Otterstad JE. Diagnostic accuracy of left ventricular longitudinal function by speckle tracking echocardiography to predict significant coronary artery stenosis. A systematic review. *BMC Medical Imaging*. 2015;15(1):25. DOI: 10.1186/s12880-015-0067-y
13. Qin S, Cao X, Zhang R, Liu H. Predictive value of speckle tracking technique for coronary artery stenosis in patients with coronary heart disease. *American Journal of Translational Research*. 2023;15(9):5873–81. PMID: 37854206
14. Farag SI, El-Rabbat KEE-D, Ahmed Mostafa S, Abd Alnaby MS, Sabry A-SM. The predictive value of speckle tracking during dobutamine stress echocardiography in patients with chronic stable angina. *Indian Heart Journal*. 2020;72(1):40–5. DOI: 10.1016/j.ihj.2020.03.001
15. Mansour MJ, AlJaroudi W, Hamoui O, Chaaban S, Chammas E. Multimodality imaging for evaluation of chest pain using strain analysis at rest and peak exercise. *Echocardiography*. 2018;35(8):1157–63. DOI: 10.1111/echo.13885
16. Alekhin M. N., Stepanova A. I. Echocardiography in the Assessment of Postsystolic Shortening of the Left Ventricle Myocardium of the Heart. *Kardiologiia*. 2020;60(12):110–6. [Russian: Алехин М. Н., Степанова А. И. Эхокардиография в оценке постсистолического укорочения миокарда левого желудочка сердца. Кардиология. 2020;60(12):110–6]. DOI: 10.18087/cardio.2020.12.n1087
17. Stepanova A. I., Radova N. F., Alekhin M. N. Diagnostic value of post-systolic shortening of the left ventricular myocardium assessed during speckle tracking stress echocardiography on the treadmill in patients with coronary artery disease. *Kardiologiia*. 2022;62(1):57–64. [Russian: Степанова А. И., Радова Н. Ф., Алехин М. Н. Диагностическое значение постсистолического укорочения миокарда левого желудочка у пациентов с ишемической болезнью сердца при спекл-трекинг стресс-эхокардиографии с использованием тредмил-теста. Кардиология. 2022;62(1):57–64]. DOI: 10.18087/cardio.2022.1.n1724
18. Zhuravleva O. A., Ryabova T. R., Vrublevsky A. V., Sviazova N. N., Margolis N. Yu., Volkovskaia A. O. et al. Evaluation of left ventricular global longitudinal strain as an adjunct to standard and ABCDE stress echocardiography for risk stratification in ischemic heart disease. *Kardiologiia*. 2025;65(6):12–22. [Russian: Журавлева О. А., Рябова Т. Р., Врублевский А. В., Связова Н. Н., Марголис Н. Ю., Волковская А. О. и др. Оценка глобальной продольной деформации левого желудочка как дополнение к стандартной и расширенной стресс-эхокардиографии в стратификации риска при ишемической болезни сердца. Кардиология. 2025;65(6):12–22]. DOI: 10.18087/cardio.2025.6.n2895
19. Gensini GG. A more meaningful scoring system for determining the severity of coronary heart disease. *The American Journal of Cardiology*. 1983;51(3):606. DOI: 10.1016/S0002-9149(83)80105-2
20. Yokokawa T, Yoshihisa A, Kiko T, Shimizu T, Misaka T, Yamaki T et al. Residual Gensini Score Is Associated With Long-Term Cardiac Mortality in Patients With Heart Failure After Percutaneous Coronary Intervention. *Circulation Reports*. 2020;2(2):89–94. DOI: 10.1253/circrep.CR-19-0121