

Степанова А. И.¹, Радова Н. Ф.^{1,2}, Алехин М. Н.^{1,2}

¹ ФГБУ ДПО «Центральная государственная медицинская академия» УД Президента России, Москва, Россия

² ФГБУ «Центральная клиническая больница с поликлиникой» УД Президента России, Москва, Россия

СПЕКЛ-ТРЕКИНГ СТРЕСС-ЭХОКАРДИОГРАФИЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ТРЕДМИЛ-ТЕСТА В ОЦЕНКЕ ФУНКЦИОНАЛЬНОЙ ЗНАЧИМОСТИ СТЕПЕНИ СТЕНОЗА КОРОНАРНЫХ АРТЕРИЙ

Цель	Определение диагностических возможностей глобальной продольной систолической деформации (ГПСД) левого желудочка (ЛЖ) при стресс-эхокардиографии (стресс-ЭхоКГ) с использованием тредмил-теста в диагностике функциональной значимости степени стеноза коронарных артерий (КА).
Материал и методы	В исследование был включен 121 пациент (73 мужчины, средний возраст 68,3±7,7 года), с подозрением или с ранее установленным диагнозом ишемической болезни сердца (ИБС). Всем пациентам проводили спекл-трекинг стресс-ЭхоКГ (технология отслеживания пятен в двухмерном серошкальном ультразвуковом изображении) с использованием тредмил-теста и коронарографию. Пациенты были разделены на 3 группы в зависимости от выраженности стеноза КА по шкале Gensini.
Результаты	ГПСД ЛЖ в покое статистически значимо не различалась между исследуемыми группами пациентов. После прекращения нагрузки ГПСД ЛЖ у пациентов с выраженным стенозом КА была статистически значимо ниже, чем у пациентов без стеноза КА и с умеренным стенозом КА – 15,9±4,6% в сравнении с 20,6±3,7% (p<0,001) и 19,6±3,0% (p=0,003) соответственно. ГПСД ЛЖ после прекращения нагрузки менее 16,9% позволяла предполагать выраженный стеноз КА с чувствительностью 80% и специфичностью 70% (площадь под кривой AUC 0,76±0,06 при 95% доверительном интервале – ДИ 0,63–0,89; p<0,001). В группе пациентов без стеноза КА наблюдался статистически значимый прирост ГПСД ЛЖ после прекращения нагрузки (с 19,1±3,1 до 20,6±3,7; p=0,04).
Заключение	Оценка ГПСД ЛЖ и ее динамики при стресс-ЭхоКГ с использованием тредмил-теста может быть перспективной у пациентов с ИБС, поскольку у большинства пациентов с выраженным стенозом КА ГПСД ЛЖ снижена в исходном состоянии и уменьшается в ответ на нагрузку. ГПСД ЛЖ у пациентов без поражения КА после прекращения нагрузки увеличивается.
Ключевые слова	Ишемическая болезнь сердца; спекл-трекинг; стресс-эхокардиография; тредмил-тест; глобальная продольная систолическая деформация
Для цитирования	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. Kardiologiya. 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].
Автор для переписки	Степанова Анна Игоревна. E-mail: fr.anya.dz@gmail.com

Ишемическая болезнь сердца (ИБС) – ведущая причина смертности в мире [1]. В связи с этим ранняя диагностика ИБС относится к числу актуальных задач современной кардиологии. Стресс-эхокардиография (стресс-ЭхоКГ) позволяет неинвазивно оценивать систолическую функцию левого желудочка (ЛЖ) и проводить раннюю диагностику ИБС [2]. Однако, поскольку визуальная оценка нарушений локальной сократимости (НЛС) является субъективной и зависит от опыта врача, количественная оценка сократимости миокарда ЛЖ приоритетна для стресс-ЭхоКГ.

Среди технологий, позволяющих количественно оценивать сократимость ЛЖ, одной из наиболее перспективных на данный момент является технология спекл-трекинг (технология отслеживания пятен в двухмерном серошкальном ультразвуковом изображении). Анализ движения пя-

тен в двухмерном серошкальном ультразвуковом изображении позволяет оценивать степень изменения длины сегмента миокарда (его деформацию) во время сердечного цикла [3]. Технология спекл-трекинг дает возможность количественно оценивать глобальную и регионарную деформацию в нескольких направлениях – продольном, циркулярном и радиальном [4]. Функция миокарда обусловлена совокупностью этих разнонаправленных деформаций, однако за счет продольного расположения субэндокардиальных волокон миокарда показатели продольной деформации миокарда ЛЖ наиболее чувствительны к ишемическим изменениям и способны отражать ранние проявления ИБС [3].

У больных ИБС глобальная продольная систолическая деформация (ГПСД) ЛЖ имеет диагностическое и прогностическое значение [5–7]. Наряду с этим в отдельных исследованиях продемонстрировано, что ГПСД ЛЖ может быть

использована для оценки функциональной значимости степени стеноза коронарных артерий (КА) при спекл-трекинг стресс-ЭхоКГ [8–12]. Эти исследования в основном выполнялись при пробах с введением добутина, но также есть отдельные работы с использованием пробы с физической нагрузкой на велоэргометре [8–12]. Поскольку физическая нагрузка на беговой дорожке наиболее физиологична, актуальным является исследование возможностей спекл-трекинг стресс-ЭхоКГ с использованием тредмил-теста.

Цель исследования

Определение возможностей ГПСД ЛЖ при стресс-ЭхоКГ с использованием тредмил-теста в диагностике функциональной значимости степени стеноза КА.

Материал и методы

В наблюдательное сравнительное одноцентровое исследование были включены 138 госпитализированных пациентов с подозрением на ИБС или с ранее установленным диагнозом ИБС. Критериями исключения из исследования являлись неоптимальная визуализация сердца и невозможность выполнения расчета ГПСД ЛЖ после прекращения нагрузки при выполнении стресс-ЭхоКГ с использованием тредмил-теста. В связи с этим 17 пациентов были исключены из исследования: 10 – из-за неоптимальной визуализации, 7 – вследствие ограничения по частоте сердечных сокращений (ЧСС).

Таким образом, были проанализированы данные 121 пациента в возрасте от 50 до 84 лет (средний возраст $68,3 \pm 7,7$ года), 48 (39,7%) женщин и 73 (60,3%) мужчины. За 48 ч до проведения спекл-трекинг стресс-ЭхоКГ пациентам отменяли прием бета-адреноблокаторов. Антиангинальные препараты, принимаемые пациентами, отменяли в день проведения стресс-ЭхоКГ. У всех пациентов определяли претестовую вероятность ИБС в соответствии с европейскими рекомендациями 2019 г. [13].

Всем пациентам выполняли инструментальные исследования: электрокардиографию, трансторакальную ЭхоКГ, стресс-ЭхоКГ с использованием тредмил-теста. Состояние коронарного русла оценивали с помощью коронарографии (КГ), выраженность стеноза КА определяли по шкале Gensini.

По результатам КГ все пациенты были разделены на 3 группы. В 1-ю группу были включены 44 пациента без стеноза КА по данным протоколов КГ (0 баллов по шкале Gensini). Во 2-ю группу вошли 57 пациентов с умеренным стенозом КА (<34 баллов по шкале Gensini). В 3-ю группу были объединены 20 пациентов с выраженным стенозом КА (≥ 35 баллов по шкале Gensini). Клиническая характеристика пациентов представлена в табл. 1.

В группах пациентов с умеренным и выраженным стенозом КА преобладали мужчины. В группе с выраженным стенозом КА пациенты были несколько старше.

Группы были в целом сопоставимы по индексу массы тела, частоте предварительного или установленного диагноза ИБС, стенокардии напряжения I–II функционального класса в анамнезе, диагностированной гипертонической болезни, нарушений ритма сердца в анамнезе, фибрилляции предсердий в анамнезе, бронхиальной астмы, хронической обструктивной болезни легких. Процент претестовой вероятности ИБС был статистически значимо выше в группе пациентов с выраженным стенозом КА в сравнении с группой без поражения КА ($p=0,02$).

Стресс-ЭхоКГ выполняли в соответствии с общепринятыми правилами проведения на ультразвуковой системе Vivid E95 [14]. Тредмил-тест выполняли на аппарате Series 2100 GE Healthcare, использовали протокол Bruce с регистрацией ЭКГ и ЧСС в покое и во время на-

Таблица 1. Клиническая характеристика исследованных групп пациентов

Показатель	1-я группа (n=44)	2-я группа (n=57)	3-я группа (n=20)	p
Женщины	26 (59)	18 (32)	4 (20)	$p_{1-2}=0,02$ $p_{1-3}=0,01$ $p_{2-3}=0,39$
Возраст, годы (M $\pm$ SD)	63,0 $\pm$ 8,2	64,6 $\pm$ 10,0	69,1 $\pm$ 9,1	$p_{1-2}=0,22$ $p_{1-3}=0,01$ $p_{2-3}=0,24$
Индекс массы тела, кг/м ² (M $\pm$ SD)	28,7 $\pm$ 4,7	29,0 $\pm$ 4,6	26,7 $\pm$ 3,9	$p_{1-2}=0,66$ $p_{1-3}=0,30$ $p_{2-3}=0,15$
Претестовая вероятность ИБС (%), Ме [Q1; Q3]	16,0 [6,0; 27,0]	22,0 [11,0; 27,0]	24,0 [22,0; 44,0]	$p_{1-2}=0,12$ $p_{1-3}=0,02$ $p_{2-3}=0,18$
ИБС (предполагаемая или установленная)	37 (88,1)	43 (76,8)	18 (90,0)	$p_{1-2}=0,19$ $p_{1-3}=0,65$ $p_{2-3}=0,30$
Гипертоническая болезнь	31 (70,5)	48 (84,2)	16 (80,0)	$p_{1-2}=0,14$ $p_{1-3}=0,35$ $p_{2-3}=0,99$
Стенокардия напряжения I–II ФК по данным анамнеза	19 (45,2)	21 (37,5)	8 (40,0)	$p_{1-2}=0,53$ $p_{1-3}=0,99$ $p_{2-3}=0,78$
НПС в анамнезе	12 (28,6)	13 (23,2)	4 (20,0)	$p_{1-2}=0,64$ $p_{1-3}=0,75$ $p_{2-3}=0,99$
ФП в анамнезе	7 (16,7)	12 (21,1)	4 (20,0)	$p_{1-2}=0,61$ $p_{1-3}=0,72$ $p_{2-3}=0,99$
Бронхиальная астма	1 (2,4)	3 (5,4)	1 (5,0)	$p_{1-2}=0,63$ $p_{1-3}=0,53$ $p_{2-3}=0,99$
ХОБЛ	3 (7,1)	7 (12,5)	1 (5,0)	$p_{1-2}=0,50$ $p_{1-3}=0,99$ $p_{2-3}=0,67$

Данные представлены в виде абсолютного числа больных (%), если не указано другое. ИБС – ишемическая болезнь сердца; ФК – функциональный класс; НПС – нарушения ритма сердца; ФП – фибрилляция предсердий; ХОБЛ – хроническая обструктивная болезнь легких.

грузки, артериальное давление (АД) измеряли ручным тонометром на всех ступенях нагрузки.

Использовали протокол стресс-ЭхоКГ с регистрацией показателей в исходном состоянии и сразу после прекращения тредмил-теста. После прекращения нагрузки использовали непрерывную регистрацию цифровых данных ЭхоКГ с последующим выбором наиболее качественных клипов. При этом регистрировали 5 позиций: из верхушечного доступа длинную ось ЛЖ, позиции на 4 и 2 камеры, из парастернального доступа длинную ось ЛЖ и короткую ось на уровне папиллярных мышц ЛЖ. Время записи всех необходимых клипов не превышало 1,5 мин после прекращения тредмил-теста ($0,51 \pm 0,39$ мин).

При визуальной оценке НЛС в покое и после прекращения нагрузки рассчитывали индекс НЛС (ИНЛС) ЛЖ [14]. Рассчитывали силу сокращения ЛЖ в покое и после нагрузки как отношение систолического АД к конечному систолическому объему ЛЖ [15]. Контрактивный резерв ЛЖ рассчитывали, как отношение силы сокращения ЛЖ после прекращения нагрузки к значению силы сокращения ЛЖ до нагрузки [15].

Наряду с визуальной оценкой сократимости ЛЖ при стресс-ЭхоКГ рассчитывали показатели продольной деформации ЛЖ. Для этого использовали клипы верхушечных позиций с частотой кадров не менее 50 в секунду. Продольную систолическую деформацию оценивали с помощью программного обеспечения прибора Vivid E95 с применением алгоритма Automated functional imaging (AFI). Проводили оценку ГПСД ЛЖ и локальной продольной систолической деформации (ЛПСД) ЛЖ [4]. Рассчитывали дельту ГПСД ЛЖ как разность между ГПСД ЛЖ в исходном состоянии и после прекращения нагрузки.

КГ выполнялась по методу Judkins независимым интервенционным хирургом в течение 3 мес до или после проведения стресс-ЭхоКГ. Оценку выраженности стеноза КА проводили по шкале Gensini: 0 баллов – без стеноза КА, 1–34 балла – умеренный стеноз КА, ≥ 35 баллов – выраженный стеноз КА [16].

Перед выполнением исследования у всех пациентов было получено информированное согласие. Протокол исследования был одобрен этическим комитетом ФГБУ ДПО «ЦГМА» Управления делами Президента Российской Федерации.

Статистическую обработку полученных данных осуществляли с помощью пакета статистических программ SPSS 23.0. Для проверки на нормальность распределения наблюдаемых признаков был использован критерий Колмогорова–Смирнова с поправкой Лиллиефорса. При нормальном распределении количественные данные были представлены в виде средних значений $\pm$ стандартное отклонение ($M \pm SD$) и оценивались с помощью t-критерия Стьюдента. Совокупности количественных показателей, распределение которых отличалось от нормального, описы-

вали при помощи значений медианы (Me), нижнего и верхнего квартилей [$Q1$; $Q3$] и оценивали с помощью критерия Манна–Уитни. Для нивелирования эффекта множественных сравнений использовали поправку Бонферрони. Категориальные показатели выражали в процентах. Статистическую значимость различий долей определяли по критерию хи-квадрат Пирсона. Был проведен ROC-анализ с построением ROC-кривых для значений ГПСД ЛЖ в покое и после прекращения нагрузки, ИНЛС ЛЖ в покое и после прекращения нагрузки, а также для дельты ГПСД ЛЖ. Различия считали статистически значимыми при $p < 0,05$.

Результаты

При проведении спекл-трекинг стресс-ЭхоКГ были проанализированы 4114 сегментов. В покое количественные показатели ЛПСД ЛЖ не удалось получить для 15 сегментов, после прекращения нагрузки – для 40 сегментов.

Показатели стресс-ЭхоКГ представлены в табл. 2.

При проведении стресс-ЭхоКГ число пациентов, достигших субмаксимальной ЧСС, пациентов с жалобами на болевые ощущения в области сердца и одышку во время проведения нагрузки статистически значимо не различалось между группами. Типичная ангинозная боль была зарегистрирована лишь у 2 пациентов в группе с выраженным стенозом КА. Продолжительность нагрузки, средний уровень нагрузки, АД в покое и после нагрузки, а также ЧСС в покое были сопоставимы во всех группах пациентов. Достигнутая ЧСС на максимуме нагрузки была статистически значимо ниже в группе с выраженным стенозом КА по сравнению с группой без стеноза КА ($p = 0,03$). В группе с выраженным стенозом КА пациентов с положительным результатом стресс-ЭхоКГ было статистически значимо больше, чем в группе без поражения КА ($p = 0,04$).

По результатам стресс-ЭхоКГ с использованием тредмил-теста и данных КГ, у 88,6% пациентов из 1-й группы были основания для пересмотра предварительного диагноза ИБС. У 11,4% пациентов с положительным результатом стресс-ЭхоКГ без поражения КА имелись основания для предположения о наличии ИБС с неизмененными КА. В исследуемых группах пациентов обращает внимание относительно небольшое число лиц с ангинозной болью, несмотря на то что, по данным анамнеза, стенокардия напряжения встречалась от 37,5 до 45,2% случаев.

При оценке контрактильного резерва не отмечено статистически значимых различий между группами пациентов.

В группе с выраженным стенозом КА определялись статистически значимо большие значения ИНЛС ЛЖ после прекращения нагрузки по сравнению с группами без стеноза КА и с умеренным стенозом КА – $1,14 \pm 0,20$ в сравнении с $1,00 \pm 0,03$ ($p < 0,001$) и $1,01 \pm 0,04$ ($p < 0,001$) соответственно. Для оценки диагностического значения ИНЛС ЛЖ по-

Таблица 2. Данные стресс-эхокардиографии

Показатель	1-я группа (n=44)	2-я группа (n=57)	3-я группа (n=20)	p
САД в покое, мм рт. ст. (M±SD)	127,2±12,9	128,7±14,6	127,2±11,7	$p_{1-2}=0,49$ $p_{1-3}=0,82$ $p_{2-3}=0,62$
САД при постнагрузке, мм рт. ст. (M±SD)	180,0±24,3	179,7±27,6	172,5±17,2	$p_{1-2}=0,69$ $p_{1-3}=0,20$ $p_{2-3}=0,39$
ДАД в покое, мм рт. ст. (M±SD)	77,6±8,4	77,3±9,8	76,0±7,7	$p_{1-2}=0,77$ $p_{1-3}=0,46$ $p_{2-3}=0,65$
ДАД при постнагрузке, мм рт. ст. (M±SD)	83,2±11,7	82,3±11,8	81,7±10,0	$p_{1-2}=0,83$ $p_{1-3}=0,92$ $p_{2-3}=0,96$
ЧСС в покое, уд/мин (Me, Q1–Q3)	67,0 [62,0; 75,5]	68,0 [63,0; 74,0]	65,0 [58,5; 71,5]	$p_{1-2}=0,45$ $p_{1-3}=0,55$ $p_{2-3}=0,23$
ЧСС при постнагрузке, уд/мин (Me, Q1–Q3)	133,0 [126,5; 139,5]	133,0 [122,0; 141,0]	121,0 [107,0; 133,0]	$p_{1-2}=0,73$ $p_{1-3}=0,03$ $p_{2-3}=0,06$
Болевые ощущения в грудной клетке	3 (6,8)	6 (10,5)	3 (15,0)	$p_{1-2}=0,72$ $p_{1-3}=0,36$ $p_{2-3}=0,68$
Ангинозная боль, купированная нитратами	–	–	2 (10)	–
«Новые нарушения ритма сердца»	31 (70,5)	38 (66,7)	12 (60,0)	$p_{1-2}=0,83$ $p_{1-3}=0,56$ $p_{2-3}=0,59$
Из которых:				
• Единичная/парная наджелудочковая и желудочковая экстрасистолия	31 (100)	37 (97,4)	12 (100)	$p_{1-2}=0,67$ $p_{1-3}=0,56$ $p_{2-3}=0,79$
• Пробежки ЖТ	–	1 (2,6)	–	–
Одышка	19 (44,2)	21 (36,8)	12 (60,0)	$p_{1-2}=0,53$ $p_{1-3}=0,28$ $p_{2-3}=0,33$

САД – систолическое артериальное давление; ДАД – диастолическое артериальное давление; ЧСС – частота сердечных сокращений; ЖТ – желудочковая тахикардия; ИНАС ЛЖ – индекс нарушений локальной сократимости левого желудочка; ГПСД ЛЖ – глобальная продольная систолическая деформация левого желудочка. Данные представлены в виде абсолютного числа больных (%), если не указано другое.

сле прекращения нагрузки в выявлении стеноза КА был выполнен ROC-анализ. Было получено низкое качество модели, площадь под кривой (AUC) составила 0,59±0,05. При анализе диагностического значения ИНАС ЛЖ в выявлении выраженного стеноза КА было получено хорошее качество модели (AUC 0,78±0,07) с чувствительностью и специфичностью 66 и 88% соответственно для значения 1,02.

При оценке динамики ИНАС ЛЖ в группах пациентов без поражения КА и с умеренным поражением КА статистически значимый прирост значений не зарегистрирован. У пациентов с выраженным стенозом КА выявлен статистически значимый прирост ИНАС ЛЖ (1,03±0,09 в сравнении с 1,14±0,20; p=0,03).

ГПСД ЛЖ в покое статистически значимо не различалась между группами пациентов. После прекращения нагрузки у пациентов с выраженным стенозом КА ГПСД ЛЖ была статистически значимо ниже, чем в группе пациентов без сте-

Таблица 2. Продолжение

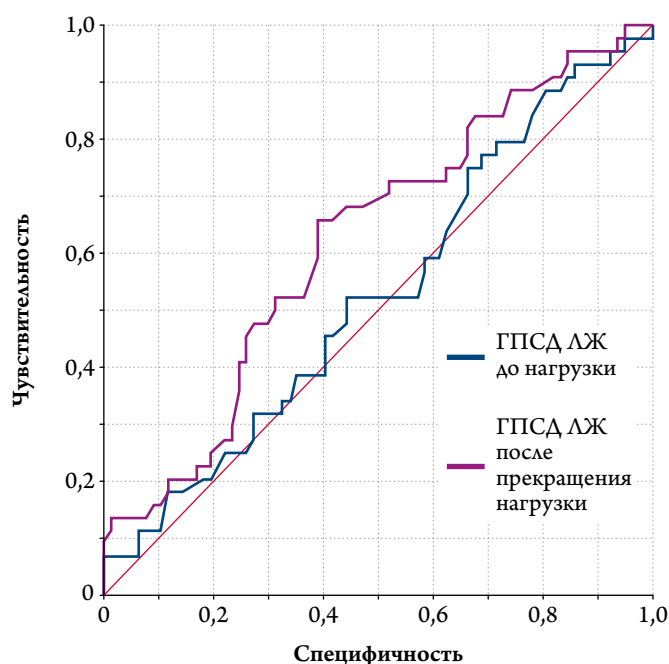
Показатель	1-я группа (n=44)	2-я группа (n=57)	3-я группа (n=20)	p
Достижение субмаксимальной ЧСС	35 (79,5)	41 (71,9)	11 (55,0)	$p_{1-2}=0,48$ $p_{1-3}=0,21$ $p_{2-3}=0,51$
Средний уровень нагрузки, METS (Me, Q1–Q3)	7,0 [4,6; 7,0]	7,0 [4,6; 7,0]	4,6 [4,6; 7,0]	$p_{1-2}=0,71$ $p_{1-3}=0,18$ $p_{2-3}=0,18$
Время нагрузки, мин (Me, Q1–Q3)	5,4 [4,3; 6,4]	5,4 [4,4; 7,1]	4,4 [3,2; 6,2]	$p_{1-2}=0,50$ $p_{1-3}=0,17$ $p_{2-3}=0,11$
Положительный результат тредмил-теста	5 (11,4)	15 (26,3)	7 (35)	$p_{1-2}=0,77$ $p_{1-3}=0,11$ $p_{2-3}=0,15$
Положительный результат стресс-эхокардиографии	5 (11,4)	8 (14,0)	8 (40,0)	$p_{1-2}=0,23$ $p_{1-3}=0,04$ $p_{2-3}=0,78$
ИНАС ЛЖ в покое, баллы (M±SD)	1,00±0,01	1,00±0,01	1,03±0,09	$p_{1-2}=0,25$ $p_{1-3}=0,01$ $p_{2-3}=0,01$
ИНАС ЛЖ после прекращения нагрузки, баллы (M±SD)	1,00±0,03	1,01±0,04	1,14±0,20	$p_{1-2}=0,38$ $p_{1-3}<0,001$ $p_{2-3}<0,001$
Контрактивный резерв (M±SD)	1,6±0,5	1,6±0,6	1,5±0,4	$p_{1-2}=0,81$ $p_{1-3}=0,58$ $p_{2-3}=0,42$
ГПСД ЛЖ в покое, % (M±SD)	19,1±3,1	19,0±2,7	17,8±2,8	$p_{1-2}=0,98$ $p_{1-3}=0,16$ $p_{2-3}=0,15$
ГПСД ЛЖ после прекращения нагрузки, % (M±SD)	20,6±3,7	19,6±3,0	15,9±4,6	$p_{1-2}=0,25$ $p_{1-3}<0,001$ $p_{2-3}=0,003$
Дельта ГПСД ЛЖ, % (Me, Q1–Q3)	–1,6 [–3,4; 0,8]	–1,1 [–2,5; 1,9]	1,7 [–0,6; 3,5]	$p_{1-2}=0,22$ $p_{1-3}<0,001$ $p_{2-3}=0,02$

ноза КА и с умеренным стенозом КА – 15,9±4,6% в сравнении с 20,6±3,7% (p<0,001) и 19,6±3,0% (p=0,003) соответственно.

При оценке динамики изменения ГПСД ЛЖ в группе пациентов без стеноза КА наблюдался статистически значимый прирост ГПСД ЛЖ после прекращения нагрузки (с 19,1±3,1 до 20,6±3,7%; p=0,04). В группе пациентов с умеренным стенозом КА также наблюдался прирост ГПСД ЛЖ после прекращения нагрузки, однако был менее выражен и не был статистически значимым в сравнении с исходными значениями (с 19,0±2,7 до 19,6±3,0%; p=0,25). В группе с выраженным стенозом КА ГПСД ЛЖ после прекращения нагрузки снижалась, в отличие от первых двух групп, однако статистически незначимо (с 17,8±2,8 до 15,9±4,6%; p=0,15).

Для оценки диагностического значения ГПСД ЛЖ в выявлении стеноза КА был выполнен ROC-анализ (рис. 1). При анализе диагностического значения ГПСД ЛЖ в выявлении стеноза КА получено низкое и среднее

Рисунок 1. ROC-кривая, демонстрирующая возможности показателя ГПСД ЛЖ до и после прекращения нагрузки в оценке стеноза КА



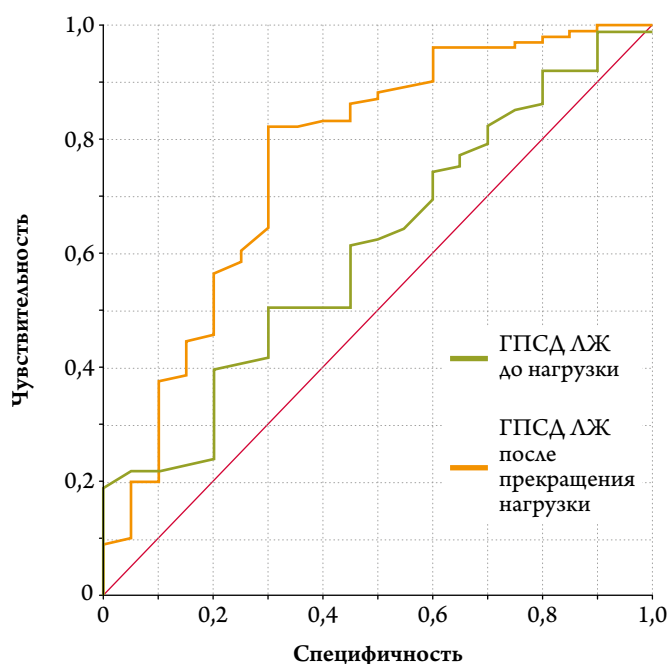
ГПСД ЛЖ до нагрузки: AUC $0,52 \pm 0,05$; 95% ДИ $0,42-0,63$ ($p=0,59$). ГПСД ЛЖ после прекращения нагрузки: AUC $0,62 \pm 0,05$; 95% ДИ $0,52-0,72$ ($p=0,02$). ГПСД – глобальная продольная систолическая деформация; ЛЖ – левый желудочек; КА – коронарные артерии; ДИ – доверительный интервал

качество модели как в покое, так и после прекращения нагрузки, площадь под кривой (AUC) составила $0,52 \pm 0,05$ и $0,62 \pm 0,05$ соответственно.

На рис. 2 представлена ROC-кривая в оценке выраженного стеноза КА с использованием ГПСД ЛЖ. Оценка показателя ГПСД ЛЖ до нагрузки выявила среднее качество модели в оценке выраженности стеноза КА (AUC $0,63 \pm 0,06$) с максимальной чувствительностью 73% и специфичностью 51% при ГПСД ЛЖ 19,0%. По данным оценки ГПСД ЛЖ, после прекращения нагрузки было получено хорошее качество модели (AUC $0,76 \pm 0,06$) с чувствительностью и специфичностью 80 и 70% соответственно для ГПСД ЛЖ 16,9%.

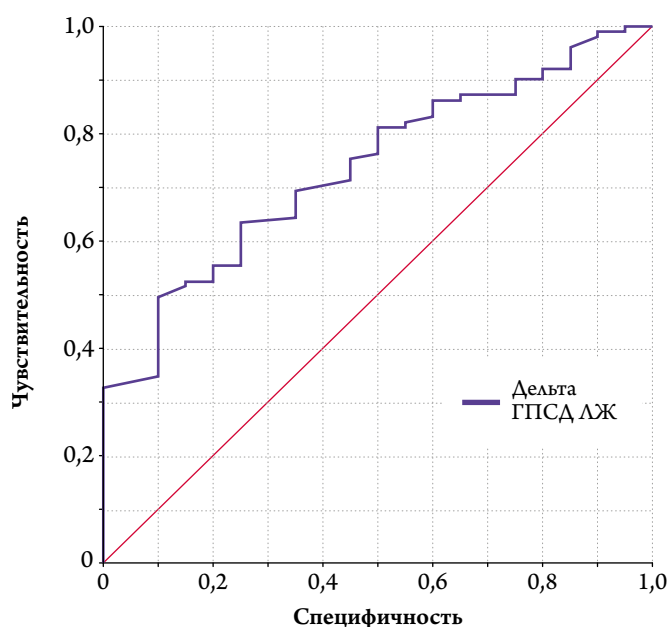
Дельта ГПСД ЛЖ была выше в группе пациентов с выраженным стенозом КА в сравнении с группами пациентов без стеноза КА и с умеренным стенозом КА – 1,7% $[-0,6; 3,5]$, в сравнении с –1,6% $[-3,4; 0,8]$ ($p<0,001$) и –1,1% $[-2,5; 1,9]$ ($p=0,02$) соответственно. При оценке дельты ГПСД ЛЖ в выявлении стеноза КА получено низкое качество модели (AUC $0,54 \pm 0,05$). На рис. 3 представлена ROC-кривая, демонстрирующая возможности дельты ГПСД ЛЖ в оценке выраженного стеноза КА. При определении диагностической значимости дельты ГПСД ЛЖ в оценке выраженного стеноза КА получено хорошее качество модели (AUC $0,73 \pm 0,05$), а чувствительность и специфичность составили 73 и 63% соответственно для значения –0,3.

Рисунок 2. ROC-кривая, демонстрирующая возможности показателя ГПСД ЛЖ до и после прекращения нагрузки в оценке выраженного стеноза КА



ГПСД ЛЖ до нагрузки: AUC $0,63 \pm 0,06$; 95% ДИ $0,47-0,73$ ($p=0,12$). ГПСД ЛЖ после прекращения нагрузки: AUC $0,76 \pm 0,06$; 95% ДИ $0,63-0,89$ ($p<0,001$). ГПСД – глобальная продольная систолическая деформация; ЛЖ – левый желудочек; КА – коронарные артерии; ДИ – доверительный интервал.

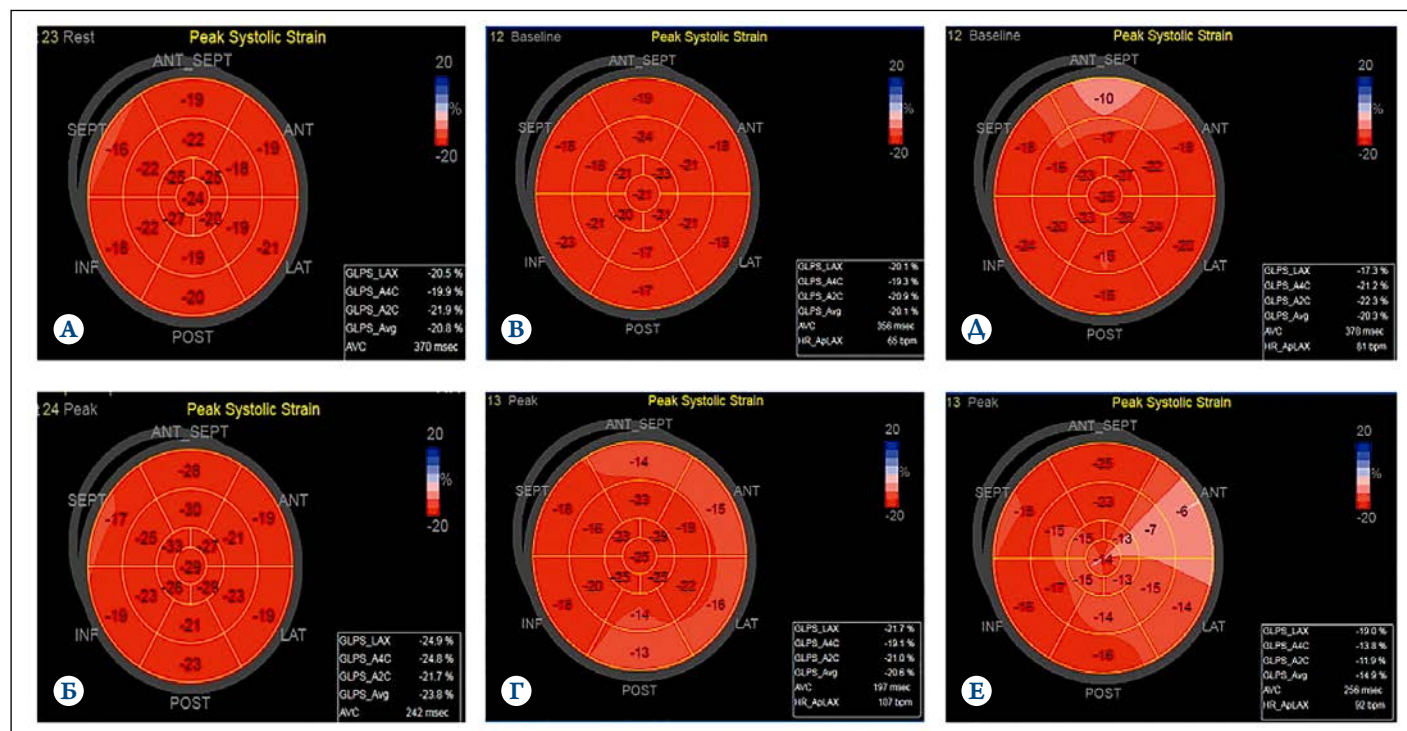
Рисунок 3. ROC-кривая, демонстрирующая возможности дельты ГПСД ЛЖ в оценке выраженного стеноза КА



AUC $0,73 \pm 0,05$; 95% ДИ $0,63-0,84$ ($p=0,001$). ГПСД – глобальная продольная систолическая деформация; ЛЖ – левый желудочек; КА – коронарные артерии; ДИ – доверительный интервал.

В группе с гемодинамически значимым поражением КА у 14 пациентов ГПСД ЛЖ составила менее 16,9%, у 6 – более 16,9%. По клиническим и антропометрическим дан-

Рисунок 4. Клинический пример оценки ГПСД ЛЖ в покое и после прекращения нагрузки при спекл-трекинг стресс-эхокардиографии с использованием тредмил-теста



А, Б – без поражения КА; В, Г – 60% стеноз правой КА; Д, Е – многососудистое поражение коронарного русла. ГПСД ЛЖ – глобальная продольная систолическая деформация левого желудочка; КА – коронарные артерии.

ным, а также по результатам стресс-ЭхоКГ пациенты статистически значимо не различались. Единственным показателем, статистически значимо различавшимся у этих пациентов, был ИНЛС ЛЖ после прекращения нагрузки – пациенты с ГПСД ЛЖ <16,9% имели статистически значимо большие значения, чем пациенты с ГПСД ЛЖ >16,9% (1,19±0,23 и 1,04±0,04 соответственно; $p=0,04$).

Динамика ГПСД ЛЖ у 3 пациентов из обследованных групп представлена на рис. 4.

Как представлено на рис. 4, при стресс-ЭхоКГ с использованием тредмил-теста наибольший прирост ГПСД ЛЖ наблюдался у пациента без стенозирующего поражения КА, минимальный прирост – у пациента с умеренным стенозом КА, а у пациента с выраженным стенозом КА отмечено снижение ГПСД ЛЖ.

Исходя из полученных данных, показатели ГПСД ЛЖ и ИНЛС ЛЖ, оцененные после прекращения нагрузки, статистически значимо различались между группой пациентов с выраженным стенозом КА и группами без поражения КА и с умеренным поражением КА. При оценке динамики ИНЛС ЛЖ было зарегистрировано отсутствие статистически значимого прироста в группах без поражения КА и с умеренным поражением КА и статистически значимый прирост в группе с выраженным стенозом КА. Оценка динамики ГПСД ЛЖ позволила выявить статистически значимый прирост значений в группе без поражения КА, статистически незначимый прирост ГПСД

ЛЖ в группе с умеренным поражением КА и статистически незначимое снижение ГПСД ЛЖ в группе с выраженным стенозом КА. При оценке диагностического значения показателей ГПСД ЛЖ и ИНЛС ЛЖ в выявлении выраженного стеноза КА для ГПСД ЛЖ была получена более высокая чувствительность, чем для ИНЛС ЛЖ (80 и 66% соответственно), однако специфичность была ниже (70 и 88% соответственно). У отдельных пациентов с выраженным стенозом КА ГПСД ЛЖ может быть не снижена.

Обсуждение

В нашем исследовании значения ГПСД ЛЖ в покое в группе пациентов с выраженным стенозом КА были меньше, чем в других группах пациентов, однако это различие не было статистически значимым. Это согласуется с результатами некоторых исследований, в которых у пациентов со стенозом КА регистрировалась сниженная ГПСД ЛЖ по данным ЭхоКГ в покое [17, 18]. При стресс-ЭхоКГ на этапе постнагрузки ГПСД ЛЖ в группе пациентов с выраженным стенозом КА оказалась статистически значимо ниже, чем в других группах. Это согласуется с данными исследования С. Aggeli и соавт. [19], в котором при стресс-ЭхоКГ с введением добутина ГПСД ЛЖ у пациентов со стенозом КА и без стеноза КА также достоверно различались лишь на пике нагрузки (18,95±4,34 и 23,16±3,30% соответственно; $p<0,001$).

В исследовании V. Uusitalo и соавт. [20] при стресс-ЭхоКГ с добутамином аналогичным образом различия между группами пациентов со стенозом КА и без стеноза КА были установлены лишь на этапе постнагрузки ($17,2 \pm 4,0$ и $19,8 \pm 2,1\%$, соответственно; $p=0,01$).

Стресс-ЭхоКГ позволяет оценить изменения показателей продольной систолической деформации в ответ на нагрузку. В нашем исследовании зарегистрирован прирост ГПСД ЛЖ после прекращения нагрузки в группах без стеноза КА (с $19,1 \pm 3,1$ до $20,6 \pm 3,7\%$; $p=0,04$) и с умеренным стенозом КА (с $19,0 \pm 2,7$ до $19,6 \pm 3,0\%$; $p=0,25$). В нескольких исследованиях у пациентов без стеноза КА при стресс-ЭхоКГ на пике нагрузки также был продемонстрирован прирост ГПСД ЛЖ [19, 21, 22]. В исследовании С.Д. Пирцхалава и соавт. [22], оценивавшим ГПСД ЛЖ при стресс-ЭхоКГ с использованием тредмил-теста и тканевой доплерографии, в группе пациентов без ИБС был зарегистрирован прирост значений на максимуме нагрузки (с $20,0 \pm 1,7$ до $21,6 \pm 4,1\%$; $p=0,03$). Схожие данные представлены в работе С. Aggeli и соавт. [19], в которой зарегистрирован прирост ГПСД ЛЖ у пациентов без стеноза КА (с $21,59 \pm 2,33$ до $23,16 \pm 3,30\%$) [19, 22].

По нашим данным, при стресс-ЭхоКГ прирост показателя визуальной оценки НЛС, в качестве которого мы использовали ИНЛС ЛЖ, наблюдался только у пациентов с выраженным стенозом КА. Визуальная оценка НЛС ЛЖ служит основным критерием преходящей ишемии миокарда при стресс-ЭхоКГ. Однако следует отметить, что в последние годы в ряде исследований показано существенное снижение частоты положительных проб при стресс-ЭхоКГ при использовании в качестве критерия преходящей ишемии миокарда визуальной оценки НЛС [23, 24]. В связи с этим постоянно идет поиск новых показателей для оценки функциональной значимости степени стеноза КА при стресс-ЭхоКГ, и большое внимание уделяется оценке показателей продольной систолической деформации ЛЖ. В недавно опубликованном мета-анализе К. Gupta и соавт. [25] показано, что анализ деформации миокарда во время стресс-ЭхоКГ выполним и обладает более высокой диагностической точностью для выявления клинически значимой ИБС по сравнению с визуальной оценкой только НЛС. По нашим данным, в группе пациентов с выраженным стенозом КА наблюдалось снижение ГПСД ЛЖ по сравнению с исходной, хотя оно и не достигало статистической значимости ($17,8 \pm 2,8$ в сравнении с $15,9 \pm 4,6\%$; $p=0,15$). Несмотря на это, по данным ROC-анализа, значение ГПСД ЛЖ после прекращения нагрузки менее $16,9\%$ позволяло предполагать выраженный стеноз КА с чувствительностью 80% и специфичностью 70% ($AUC\ 0,76 \pm 0,06$). Полученное нами значение ГПСД ЛЖ $16,9\%$ очень близко к значению, полученному в исследовании М. J. Mansour

и соавт. [11], в котором стресс-ЭхоКГ выполнялась с использованием физической нагрузки на полулежащем велоэргометре с постоянной регистрацией эхокардиографических данных. При этом показатели чувствительности и специфичности, как в исследовании М. J. Mansour и соавт. [11], так и по данным мета-анализа К. Gupta и соавт. [25], были выше, чем полученные нами. Вероятно, это обусловлено особенностями стресс-ЭхоКГ с использованием тредмил-теста, а именно тем, что регистрация данных для расчета ГПСД ЛЖ при этом виде нагрузки проводится сразу после прекращения пробы, а не на пике нагрузки, как это выполнялось в исследовании М. J. Mansour и соавт. и в других исследованиях, включенных в мета-анализ К. Gupta и соавт., где большинство проб выполнялось с введением фармакологических препаратов [11, 25]. Косвенным подтверждением этого предположения могут служить данные исследования Y. Yu и соавт. [26], в котором обнаружено, что ГПСД ЛЖ у пациентов с множественным стенозом КА снижалась уже на первых ступенях нагрузки с введением добутина (10 мкг/кг/мин), еще до появления видимых НЛС.

Поскольку прослеживается определенная динамика в изменении ГПСД ЛЖ и ИНЛС ЛЖ, можно предположить, что оценка этих двух показателей позволяет наиболее точно оценивать сократимость миокарда ЛЖ. Это нашло подтверждение и в исследовании А. С. Ng и соавт. [27], в котором продемонстрировано, что визуальная оценка НЛС и показатель ГПСД ЛЖ в целом сопоставимы, а их комбинация при пробе с добутамином имела наибольшую чувствительность, специфичность и диагностическую точность в оценке выраженного стеноза КА.

Выводы

1. Значение глобальной продольной систолической деформации левого желудочка после прекращения нагрузки менее $16,9\%$ позволяет предполагать выраженный стеноз коронарных артерий с чувствительностью 80% и специфичностью 70% ($AUC\ 0,76 \pm 0,06$; 95% доверительный интервал $0,63-0,89$; $p<0,001$).
2. У 70% пациентов с выраженным стенозом коронарных артерий глобальная продольная систолическая деформация левого желудочка снижена в исходном состоянии и уменьшается в ответ на нагрузку.
3. У пациентов с неизмененными коронарными артериями при спекл-трекинг стресс-эхокардиографии с использованием тредмил-теста наблюдается прирост глобальной продольной систолической деформации левого желудочка.

Конфликт интересов авторами не заявлен.

Статья поступила 01.11.20

- Nowbar AN, Gitto M, Howard JP, Francis DP, Al-Lamee R. Mortality From Ischemic Heart Disease: Analysis of Data From the World Health Organization and Coronary Artery Disease Risk Factors From NCD Risk Factor Collaboration. *Circulation: Cardiovascular Quality and Outcomes*. 2019;12(6):e005375. DOI: 10.1161/CIRCOUTCOMES.118.005375
- Pellikka PA, Nagueh SF, Elhendy AA, Kuehl CA, Sawada SG. American Society of Echocardiography Recommendations for Performance, Interpretation, and Application of Stress Echocardiography. *Journal of the American Society of Echocardiography*. 2007;20(9):1021–41. DOI: 10.1016/j.echo.2007.07.003
- Smiseth OA, Torp H, Opdahl A, Haugaa KH, Urheim S. Myocardial strain imaging: how useful is it in clinical decision making? *European Heart Journal*. 2016;37(15):1196–207. DOI: 10.1093/eurheartj/ehv529
- Lang RM, Badano LP, Mor-Avi V, Afilalo J, Armstrong A, Ernande L et al. Recommendations for Cardiac Chamber Quantification by Echocardiography in Adults: An Update from the American Society of Echocardiography and the European Association of Cardiovascular Imaging. *Journal of the American Society of Echocardiography*. 2015;28(1):1–39.e14. DOI: 10.1016/j.echo.2014.10.003
- Cha M-J, Kim H-S, Kim SH, Park J-H, Cho G-Y. Prognostic power of global 2D strain according to left ventricular ejection fraction in patients with ST elevation myocardial infarction. *PLOS ONE*. 2017;12(3):e0174160. DOI: 10.1371/journal.pone.0174160
- Hubbard RT, Arciniegas Calle MC, Barros-Gomes S, Kukuzke JA, Pellikka PA, Gulati R et al. 2-Dimensional Speckle Tracking Echocardiography predicts severe coronary artery disease in women with normal left ventricular function: a case-control study. *BMC Cardiovascular Disorders*. 2017;17(1):231. DOI: 10.1186/s12872-017-0656-5
- Billehaug Norum I, 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
- Rumbinaite E, Žaliaduonytė-Pekšienė D, Vieželis M, Čeponienė I, Lapinskas T, Žvirblytė R et al. Dobutamine-stress echocardiography speckle-tracking imaging in the assessment of hemodynamic significance of coronary artery stenosis in patients with moderate and high probability of coronary artery disease. *Medicina*. 2016;52(6):331–9. DOI: 10.1016/j.medici.2016.11.005
- Nishi T, Funabashi N, Ozawa K, Nishi T, Kamata T, Fujimoto Y et al. Regional layer-specific longitudinal peak systolic strain using exercise stress two-dimensional speckle-tracking echocardiography for the detection of functionally significant coronary artery disease. *Heart and Vessels*. 2019;34(8):1394–403. DOI: 10.1007/s00380-019-01361-w
- Park JH, Woo JS, Ju S, Jung SW, Lee I, Kim JB et al. Layer-specific analysis of dobutamine stress echocardiography for the evaluation of coronary artery disease. *Medicine*. 2016;95(32):e4549. DOI: 10.1097/MD.0000000000004549
- 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
- Ejlertsen JA, Poulsen SH, Mortensen J, May O. Diagnostic value of layer-specific global longitudinal strain during adenosine stress in patients suspected of coronary artery disease. *The International Journal of Cardiovascular Imaging*. 2017;33(4):473–80. DOI: 10.1007/s10554-016-1022-x
- Knuuti J, Wijns W, Saraste A, Capodanno D, Barbato E, Funck-Brentano C et al. 2019 ESC Guidelines for the diagnosis and management of chronic coronary syndromes. *European Heart Journal*. 2020;41(3):407–77. DOI: 10.1093/eurheartj/ehz425
- 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
- Picano E, Bombardini T, Kovačević Preradović T, Cortigiani L, Wierzbowska-Drabik K, Ciampi Q. Left ventricular contractile reserve in stress echocardiography: the bright side of the force. *Kardiologia Polska*. 2019;77(2):164–72. DOI: 10.5603/KP.a2019.0002
- Gavrilova N.E., Metelskaya V.A., Perova N.V., Yarovaya E.B., Boytsov S.A., Mazaev V.P. Factor analysis and individual prognosis for the patients with first revealed arterial hypertension. *Russian Journal of Cardiology*. 2014;19(6):24–9. [Russian: Гаврилова Н.Е., Метельская В.А., Перова Н.В., Яровая Е.Б., Бойцов С.А., Мазаев В.П. Выбор метода количественной оценки поражения коронарных артерий на основе сравнительного анализа ангиографических шкал. *Российский кардиологический журнал*. 2014;19(6):24–9]. DOI: 10.15829/1560-4071-2014-6-24-29
- Moustafa S, Elrabat K, Swailem F, Galal A. The correlation between speckle tracking echocardiography and coronary artery disease in patients with suspected stable angina pectoris. *Indian Heart Journal*. 2018;70(3):379–86. DOI: 10.1016/j.ihj.2017.09.220
- Gaibazzi N, Pigazzani F, Reverberi C, Porter TR. Rest global longitudinal 2D strain to detect coronary artery disease in patients undergoing stress echocardiography: a comparison with wall-motion and coronary flow reserve responses. *Echo Research and Practice*. 2014;1(2):61–70. DOI: 10.1530/ERP-14-0020
- Aggeli C, Lagoudakou S, Felekos I, Panagopoulou V, Kastellanos S, Toutouzias K et al. Two-dimensional speckle tracking for the assessment of coronary artery disease during dobutamine stress echo: clinical tool or merely research method. *Cardiovascular Ultrasound*. 2015;13(1):43. DOI: 10.1186/s12947-015-0038-z
- Uusitalo V, Luotolahti M, Pietilä M, Wendelin-Saarenhovi M, Hartiala J, Saraste M et al. Two-Dimensional Speckle-Tracking during Dobutamine Stress Echocardiography in the Detection of Myocardial Ischemia in Patients with Suspected Coronary Artery Disease. *Journal of the American Society of Echocardiography*. 2016;29(5):470–479.e3. DOI: 10.1016/j.echo.2015.12.013
- Hwang H-J, Lee H-M, Yang I-H, Lee J-L, Pak H-Y, Park C-B et al. The Value of Assessing Myocardial Deformation at Recovery after Dobutamine Stress Echocardiography. *Journal of Cardiovascular Ultrasound*. 2014;22(3):127–33. DOI: 10.4250/jcu.2014.22.3.127
- Pirtskhalava S.D., Asymbekova E.U., Akhmedyarova N.K., Rakhimov A.Z., Buziashvili V.Yu., Tugeeva E.F. et al. Changes in myocardial deformation of the left ventricle in patients with ischemic heart disease under stress echocardiography. *Clinical Physiology of Circulation*. 2018;15(4):249–60. [Russian: Пиртсхалава С.Д., Асымбекова Э.У., Ахмедьярова Н.К., Рахимов А.З., Бузиашвили В.Ю., Тугеева Э.Ф. и др. Изменения деформации миокарда левого желудочка у больных ишемической болезнью сердца при стресс-эхокардиографии. *Клиническая физиология кровообращения*. 2018;15(4):249–60]. DOI: 10.24022/1814-6910-2018-15-4-249-260
- Cortigiani L, Ramirez P, Coltelli M, Bovenzi F, Picano E. Drop-off in positivity rate of stress echocardiography based on regional wall motion abnormalities over the last three decades. *The International Journal of Cardiovascular Imaging*. 2019;35(4):627–32. DOI: 10.1007/s10554-018-1501-3
- Barbieri A, Mantovani F, Bursi F, Bartolacelli Y, Manicardi M, Lauria M et al. 12-year Temporal Trend in Referral Pattern and Test Results of Stress Echocardiography in a Tertiary Care Referral Center with Moderate Volume Activities and Cath-lab Facility. *Journal of Cardiovascular Echography*. 2018;28(1):32–8. DOI: 10.4103/jcecho.jcecho_48_17
- Gupta K, Kakar TS, Gupta A, Singh A, Gharpure N, Aryal S et al. Role of left ventricle deformation analysis in stress echocardiography for significant coronary artery disease detection: A diagnostic study meta-analysis. *Echocardiography*. 2019;36(6):1084–94. DOI: 10.1111/echo.14365
- Yu Y, Villarraga HR, Saleh HK, Cha SS, Pellikka PA. Can ischemia and dyssynchrony be detected during early stages of dobutamine stress echocardiography by 2-dimensional speckle tracking echocardiography? *The International Journal of Cardiovascular Imaging*. 2013;29(1):95–102. DOI: 10.1007/s10554-012-0074-9
- Ng ACT, Sitges M, Pham PN, Tran DT, Delgado V, Bertini M et al. Incremental value of 2-dimensional speckle tracking strain imaging to wall motion analysis for detection of coronary artery disease in patients undergoing dobutamine stress echocardiography. *American Heart Journal*. 2009;158(5):836–44. DOI: 10.1016/j.ahj.2009.09.010