

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

ДИАГНОСТИЧЕСКОЕ ЗНАЧЕНИЕ ПОСТСИСТОЛИЧЕСКОГО УКОРОЧЕНИЯ МИОКАРДА ЛЕВОГО ЖЕЛУДОЧКА У ПАЦИЕНТОВ С ИШЕМИЧЕСКОЙ БОЛЕЗНЬЮ СЕРДЦА ПРИ SPECKLE-TRACKING СТРЕСС-ЭХОКАРДИОГРАФИИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ТРЕДМИЛ-ТЕСТА

<i>Цель</i>	Оценить диагностические возможности показателей постсистолического укорочения (ПСУ) левого желудочка (ЛЖ), полученных при speckle-tracking стресс-эхокардиографии (стресс-ЭхоКГ) с использованием тредмил-теста, в определении функциональной значимости степени стеноза коронарных артерий (КА).
<i>Материал и методы</i>	В исследование были включены 132 пациента (80 мужчин, средний возраст 65,0±9,3 года) с подозрением или с ранее верифицированным диагнозом ишемической болезни сердца. Всем пациентам выполняли стресс-ЭхоКГ с использованием тредмил-теста. Показатели деформации определяли с помощью технологии отслеживания движения пятен серой шкалы в двухмерном изображении (speckle-tracking) до и после прекращения нагрузки. Проводили расчет показателей среднего постсистолического индекса (ПСИ) ЛЖ и среднего постсистолического времени (ПСВ) ЛЖ. Всем пациентам выполняли коронарографию. Пациенты были разделены на 3 группы в зависимости от выраженности стеноза КА по шкале G. G. Gensini.
<i>Результаты</i>	Показатели ПСУ ЛЖ в покое между исследуемыми группами пациентов статистически значимо не различались. После прекращения нагрузки средний ПСИ ЛЖ у пациентов с выраженным стенозом КА был статистически значимо выше, чем в группе без стеноза КА и с умеренным стенозом КА – 8,9 % [3,8; 10,7 %] в сравнении с 3,8 % [2,2; 6,8 %] (p=0,012) и 3,4 % [2,2; 6,2 %] (p=0,012) соответственно. Средний ПСИ ЛЖ после прекращения нагрузки более 4,9% позволяет предполагать выраженный стеноз КА с чувствительностью 75% и специфичностью 61% (площадь под кривой AUC 0,74±0,06; p<0,001). После прекращения нагрузки среднее ПСВ ЛЖ у пациентов с выраженным стенозом КА было статистически значимо выше, чем в группе без стеноза КА и с умеренным стенозом КА – 27,4 [18,7; 34,7] мс в сравнении с 18,4 [10,8; 26,5] мс (p=0,036) и 20,9 [14,2; 29,5] мс (p=0,036) соответственно. Среднее ПСВ ЛЖ после прекращения нагрузки более 23,5 мс позволяет предполагать выраженный стеноз КА с чувствительностью 71% и специфичностью 65% (AUC 0,69±0,06; p=0,004). Сочетанная оценка ПСИ ЛЖ, индекса нарушений локальной сократимости (НЛС) ЛЖ, ПСВ ЛЖ и индекса НЛС ЛЖ позволяет увеличить чувствительность пробы в диагностике выраженного стеноза КА.
<i>Заключение</i>	Определение ПСУ ЛЖ при speckle-tracking стресс-ЭхоКГ может быть полезным в оценке функциональной значимости степени стеноза КА и может использоваться для увеличения чувствительности стресс-ЭхоКГ у пациентов с выраженным стенозом КА.
<i>Ключевые слова</i>	Постсистолическое укорочение; постсистолический индекс; speckle-tracking эхокардиография; стресс-эхокардиография; ишемическая болезнь сердца
<i>Для цитирования</i>	Stepanova A.I., Radova N.F., Alekhin M.N. Diagnostic value of postsystolic 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 speckle-tracking стресс-эхокардиографии с использованием тредмил-теста. Кардиология. 2022;62(1):57–64]
<i>Автор для переписки</i>	Степанова Анна Игоревна. E-mail: fr.anya.dz@gmail.com

Стресс-эхокардиография (стресс-ЭхоКГ) позволяет оценивать преходящую ишемию миокарда и его жизнеспособность, а также прогноз в различных группах пациентов с ишемической болезнью сердца (ИБС) на основе нарушений локальной сократимости (НЛС) миокарда левого желудочка (ЛЖ) [1]. Однако визуальная оценка

НЛС миокарда ЛЖ субъективна [2]. Технология отслеживания движения пятен серой шкалы в двухмерном изображении (speckle-tracking) позволяет количественно оценивать деформацию миокарда ЛЖ и продольную постсистолическую деформацию, или постсистолическое укорочение (ПСУ).

ПСУ – укорочение миокарда ЛЖ, которое происходит после закрытия створок аортального клапана [3]. Несмотря на то что пока нет однозначного ответа, связано ли появление ПСУ с наличием жизнеспособного миокарда, или его появление вызвано пассивным движением стенки, в нескольких исследованиях, оценивавших ПСУ ЛЖ у пациентов с инфарктом миокарда с подъемом сегмента ST при ЭхоКГ в покое, продемонстрирована связь между регистрацией ПСУ ЛЖ и снижением систолической функции, а также ухудшением прогноза у пациентов [4, 5]. У пациентов со стабильной стенокардией напряжения продемонстрировано, что наличие ПСУ ЛЖ служит предиктором выраженного стеноза коронарных артерий (КА) [6]. В двух исследованиях у пациентов с подозреваемой ИБС при выполнении стресс-ЭхоКГ с введением добутина продемонстрировано, что ПСУ ЛЖ, оцениваемое с помощью тканевой доплерографии, увеличивалось в ишемизированных сегментах, а также имело достаточно высокие чувствительность и специфичность в выявлении ишемии [7, 8].

Таким образом, поскольку при стресс-ЭхоКГ с использованием тканевой доплерографии продемонстрированы возможности показателя ПСУ в оценке ишемии миокарда, определение показателей ПСУ ЛЖ с помощью speckle-tracking стресс-ЭхоКГ с использованием тредмил-теста также представляется перспективным в оценке функциональной значимости степени стеноза КА.

Цель

Оценить диагностические возможности показателей ПСУ ЛЖ, полученных при speckle-tracking стресс-ЭхоКГ с использованием тредмил-теста, в определении функциональной значимости степени стеноза КА.

Материал и методы

Дизайн: наблюдательное сравнительное одноцентровое исследование. В исследование включены 132 пациента в возрасте от 42 до 85 лет (средний возраст $65,0 \pm 9,3$ года), среди них 52 (39,4%) женщины и 80 (60,6%) мужчин.

Критериями включения в исследование были: согласие больного на проведение стресс-ЭхоКГ с последующим анализом показателей деформации ЛЖ и диагностической коронарной ангиографии (КГ); регистрация синусового ритма; проведение и успешный расчет показателей деформации при speckle-tracking стресс-ЭхоКГ с использованием тредмил-теста; проведение диагностической КГ.

Критериями исключения были: наличие в анамнезе сердечной недостаточности высокого функционального класса; кардиомиопатий, злокачественных новообразований; наличие наджелудочковой или желудочковой аритмии в момент обследования; нарушений проводимости высокой степени; наличие тяжелых клапанных пороков сердца; инфаркт миокарда в анамнезе; врожденные

пороки сердца; противопоказания к проведению стресс-ЭхоКГ с использованием тредмил-теста или к проведению КГ [9, 10]; невозможность расчета показателей деформации ЛЖ в покое или после прекращения нагрузки; отказ пациента от участия в исследовании/от подписания информированного согласия на проведение speckle-tracking стресс-ЭхоКГ с последующей постпроцессинговой оценкой показателей деформации ЛЖ/КГ.

За 48 ч до проведения speckle-tracking стресс-ЭхоКГ пациентам отменяли прием бета-адреноблокаторов. У всех пациентов определяли предтестовую вероятность наличия ИБС в соответствии с рекомендациями [11].

Всем пациентам проводили КГ в течение 3 мес до/после стресс-ЭхоКГ. По результатам КГ все пациенты были разделены на 3 группы (табл. 1). В 1-ю группу были включены 42 пациента без стеноза КА по данным протоколов КГ (0 баллов по шкале G. G. Gensini). Во 2-ю группу вошли 63 пациента с умеренным стенозом КА (<34 баллов по шкале G. G. Gensini). В 3-ю группу были объединены 27 пациентов с выраженным стенозом КА (≥ 35 баллов по шкале G. G. Gensini).

У 70% пациентов КГ выполняли после стресс-ЭхоКГ. После КГ стресс-ЭхоКГ в 1-й группе проводили 8 (19%) пациентам, поскольку подозревалась ИБС при неизменных КА. Во 2-й и 3-й группах стресс-ЭхоКГ после КГ проводили 22 (34,9%) и 6 (22%) пациентам соответственно для оценки функциональной значимости стенозов КА, определенных по данным КГ.

В группе с выраженным стенозом КА по сравнению с группой без стеноза КА преобладали мужчины ($p=0,042$). В группе с выраженным стенозом КА пациенты были несколько старше, чем в группе без стеноза КА ($p=0,036$). Группы были в целом сопоставимы по клиническим данным (см. табл. 1). Предтестовая вероятность наличия ИБС у пациентов с выраженным стенозом КА была статистически значимо больше, чем у пациентов без стеноза КА ($p<0,001$).

Стресс-ЭхоКГ выполняли в соответствии с общепризнанными правилами проведения на ультразвуковой системе Vivid E95 [12]. Тредмил-тест выполняли на аппарате GE Healthcare Series 2100; использовали протокол Bruce с регистрацией электрокардиограммы и частоты сердечных сокращений (ЧСС) в покое и во время нагрузки, с измерением уровня артериального давления ручным тонометром на всех ступенях нагрузки. Используемый протокол стресс-ЭхоКГ был описан нами ранее [13].

Наряду со стандартным протоколом оценки показателей продольной деформации проводили оценку среднего постсистолического индекса (ПСИ) ЛЖ и среднего постсистолического времени (ПСВ) ЛЖ. Продольную систолическую деформацию ЛЖ определяли как максимальные значения продольной деформации в конечную систолическую фазу сердечного цикла, глобальную продольную си-

Таблица 1. Клиническая и антропометрическая характеристика групп пациентов (n=132)

Показатель	1-я группа (n=42)	2-я группа (n=63)	3-я группа (n=27)	p
Пол (мужчины/женщины), n (%)	18 (42,9)/24 (57,1)	42 (66,7)/21 (33,3)	20 (74,1)/72 (5,9)	P ₁₋₂ =0,078 P ₁₋₃ =0,042* P ₂₋₃ =0,621
Возраст, годы (M±SD; 95% ДИ)	62,4±8,3 59,8–65,0	65,5±9,7 63,1–68,0	67,9±9,1 64,3–71,5	P ₁₋₂ =0,273 P ₁₋₃ =0,036* P ₂₋₃ =0,852
Рост, см (M±SD; 95% ДИ)	169,2±8,8 166,5–172,0	171,1±8,8 168,9–173,3	171,0±8,8 167,5–174,5	P ₁₋₂ =0,870 P ₁₋₃ =0,411 P ₂₋₃ =0,977
Масса тела, кг (M±SD; 95% ДИ)	81,4±16,2 76,4–86,5	84,9±17,3 80,5–89,3	81,2±15,3 75,2–87,3	P ₁₋₂ =0,918 P ₁₋₃ =0,958 P ₂₋₃ =0,344
Индекс массы тела, кг/м ² (M±SD; 95% ДИ)	28,4±4,9 26,9–29,9	27,7±4,5 26,1–29,9	27,6±4,1 26,0–29,3	P ₁₋₂ =0,659 P ₁₋₃ =0,498 P ₂₋₃ =0,732
Предгестовая вероятность ИБС, % (Me [Q1; Q3])	16,0 [6,0; 27,0]	22,0 [10,5; 27,0]	24,0 [22,0; 44,0]	P ₁₋₂ =0,657 P ₁₋₃ <0,001* P ₂₋₃ =0,078
Гипертоническая болезнь, n (%)	30 (71,4)	52 (82,5)	22 (81,5)	P ₁₋₂ =0,690 P ₁₋₃ =0,403 P ₂₋₃ =0,999
Стенокардия напряжения I–II ФК по данным анамнеза, n (%)	16 (38,1)	21 (33,3)	13 (48,1)	P ₁₋₂ =0,679 P ₁₋₃ =0,466 P ₂₋₃ =0,711
Нарушения ритма сердца в анамнезе, n (%)	12 (28,6)	14 (22,2)	7 (25,9)	P ₁₋₂ =0,495 P ₁₋₃ =0,999 P ₂₋₃ =0,787
ФП в анамнезе, n (%)	7 (16,7)	13 (20,6)	6 (22,2)	P ₁₋₂ =0,800 P ₁₋₃ =0,753 P ₂₋₃ =0,999
Сахарный диабет, n (%)	6 (14,3)	11 (17,5)	6 (22,2)	P ₁₋₂ =0,790 P ₁₋₃ =0,518 P ₂₋₃ =0,573
Бронхиальная астма, n (%)	1 (2,4)	3 (4,8)	1 (3,7)	P ₁₋₂ =0,648 P ₁₋₃ =0,999 P ₂₋₃ =0,999
ХОБЛ, n (%)	3 (7,1)	7 (11,1)	4 (15,4)	P ₁₋₂ =0,736 P ₁₋₃ =0,415 P ₂₋₃ =0,724
Курение, n (%)	5 (11,9)	16 (25,4)	7 (25,9)	P ₁₋₂ =0,402 P ₁₋₃ =0,582 P ₂₋₃ =0,999
Дислипидемия, n (%)	11 (26,2)	17 (27,0)	8 (29,6)	P ₁₋₂ =0,999 P ₁₋₃ =0,788 P ₂₋₃ =0,802

ДИ – доверительный интервал, ФК – функциональный класс; ФП – фибрилляция предсердий; ХОБЛ – хроническая обструктивная болезнь легких. * – значения p менее 0,05.

столическую деформацию (ГПСД) ЛЖ рассчитывали как средние значения продольной систолической деформации ЛЖ для всех 17 оцениваемых сегментов.

ПСИ ЛЖ определяли как отношение разности пиковой глобальной деформации и пиковой систолической

деформации к пиковой глобальной деформации, умноженное на 100% [14]. ПСВ ЛЖ рассчитывали как время от момента закрытия аортального клапана до максимальной пиковой глобальной деформации. Средние ПСИ ЛЖ и ПСВ ЛЖ вычисляли как среднее для 17 сегментов миокарда ЛЖ. Дельту ГПСД ЛЖ, среднее ПСИ ЛЖ, среднее ПСВ ЛЖ рассчитывали как разность между исходными значениями и значениями после прекращения нагрузки. У всех пациентов оценивали динамику среднего ПСИ ЛЖ и среднего ПСВ ЛЖ до и после прекращения нагрузки.

КГ выполнял по методу М. Р. Judkins независимый интервенционный хирург. Выраженность стеноза КА оценивали по шкале G. G. Gensini: 0 – без стеноза КА, 1–34 балла – умеренный стеноз КА, ≥35 баллов – выраженный стеноз КА [15].

Перед выполнением исследования у всех пациентов было получено информированное согласие. Протокол исследования одобрен этическим комитетом Центральной государственной медицинской академии Управления делами Президента Российской Федерации (протокол №12–1/2019, утвержден 17.09.2019 г.)

Статистическую обработку полученных данных проводили с помощью пакета программ SPSS 23.0. Для проверки на нормальность распределения наблюдаемых признаков был использован критерий Колмогорова–Смирнова с поправкой Лиллиефорса. При нормальном распределении количественные данные представлены в виде средних значений ± стандартное отклонение (M±SD) и оценивались с помощью критерия t Стьюдента. Совокупности количественных показателей, распределение которых отличалось от нормального, описывали 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 с помощью критерия хи-квадрат Пирсона. Был проведен ROC-анализ с построением ROC-кривых для значений ПСИ ЛЖ и ПСВ ЛЖ в покое и после прекращения нагрузки, индекса НЛС (ИНЛС) ЛЖ, а также для комбинации ПСИ ЛЖ и ИНЛС ЛЖ и ПСВ ЛЖ и ИНЛС ЛЖ. Уровень значимости p составлял <0,05.

Результаты

При speckle-tracking стресс-ЭхоКГ было проанализировано 4488 сегментов. В покое количественные показатели локальной продольной деформации ЛЖ не удалось получить для 16 сегментов, после прекращения нагрузки – для 50 сегментов.

Данные стресс-ЭхоКГ представлены в табл. 2.

Жалобы на типичную ангинозную боль отмечены лишь в группе с выраженным поражением КА. ЧСС на максимуме

Таблица 2. Данные стресс-эхокардиографии (n=132)

Показатель	1-я группа (n=42)	2-я группа (n=63)	3-я группа (n=27)	p
САД в покое, мм рт. ст. (Ме [Q1; Q3])	125,0 [120,0; 135,0]	130,0 [120,0; 140,0]	130,0 [125,0; 130,0]	$p_{1-2}=0,365$ $p_{1-3}=0,963$ $p_{2-3}=0,986$
САД после прекращения нагрузки, мм рт. ст. (Ме [Q1; Q3])	180,0 [160,0; 200,0]	180,0 [157,5; 195,0]	170,0 [160,0; 180,0]	$p_{1-2}=0,583$ $p_{1-3}=0,510$ $p_{2-3}=0,398$
ДАД в покое, мм рт. ст. (Ме [Q1; Q3])	80,0 [70,0; 80,0]	80,0 [70,0; 80,0]	80,0 [72,5; 80,0]	$p_{1-2}=0,884$ $p_{1-3}=0,812$ $p_{2-3}=0,714$
ДАД после прекращения нагрузки, мм рт. ст. (Ме [Q1; Q3])	80,0 [80,0; 90,0]	80,0 [80,0; 90,0]	80,0 [80,0; 90,0]	$p_{1-2}=0,847$ $p_{1-3}=0,685$ $p_{2-3}=0,834$
ЧСС в покое, уд/мин (Ме [Q1; Q3])	66,5 [61,0; 76,0]	68,0 [63,0; 73,5]	66,0 [59,0; 72,5]	$p_{1-2}=0,379$ $p_{1-3}=0,834$ $p_{2-3}=0,888$
ЧСС после прекращения нагрузки, уд/мин (Ме [Q1; Q3])	134,0 [127,0; 142,0]	133,0 [123,0; 140,0]	126,0 [113,5; 133,0]	$p_{1-2}=0,502$ $p_{1-3}=0,009^*$ $p_{2-3}=0,048^*$
Болевые ощущения в грудной клетке, n (%)	2 (4,8)	5 (7,9)	5 (18,5)	$p_{1-2}=0,700$ $p_{1-3}=0,306$ $p_{2-3}=0,477$
Ангинозная боль, купированная нитратами, n (%)	—	—	2 (7,4)	—
Новые нарушения ритма сердца, n (%)	31 (73,8)	43 (68,3)	18 (66,7)	$p_{1-2}=0,663$ $p_{1-3}=0,592$ $p_{2-3}=0,999$
Из которых:				
• единичная/парная наджелудочковая/желудочковая экстрасистолия	31 (100)	42 (97,7)	18 (100)	$p_{1-2}=0,999$ $p_{1-3}=0,867$ $p_{2-3}=0,999$
• пробежки ЖТ	—	1 (2,3)	—	—
Одышка, n (%)	17 (41,5)	21 (33,3)	14 (51,9)	$p_{1-2}=0,413$ $p_{1-3}=0,461$ $p_{2-3}=0,321$
Достижение субмаксимальной ЧСС, n (%)	35 (83,3)	48 (76,2)	17 (63,0)	$p_{1-2}=0,467$ $p_{1-3}=0,255$ $p_{2-3}=0,633$
Средний уровень нагрузки, METS (Ме [Q1; Q3])	7,0 [7,0; 7,0]	7,0 [4,6; 7,0]	4,6 [4,6; 7,0]	$p_{1-2}=0,906$ $p_{1-3}=0,303$ $p_{2-3}=0,474$
Время нагрузки, мин (Ме [Q1; Q3])	5,5 [4,5; 6,4]	6,1 [4,3; 7,2]	5,0 [3,3; 6,5]	$p_{1-2}=0,541$ $p_{1-3}=0,870$ $p_{2-3}=0,552$
Положительный результат стресс-ЭхоКГ, n (%)	5 (11,9)	6 (9,5)	12 (44,4)	$p_{1-2}=0,751$ $p_{1-3}=0,012^*$ $p_{2-3}<0,001^*$

САД – систолическое артериальное давление; ДАД – диастолическое артериальное давление; ЧСС – частота сердечных сокращений; ЖТ – желудочковая тахикардия; ЭхоКГ – эхокардиография. * – значения p менее 0,05.

нагрузки у пациентов с выраженным стенозом КА была статистически значимо меньше, чем у пациентов без стеноза КА и умеренным стенозом КА ($p=0,009$ и $p=0,048$ соответственно). По данным стресс-ЭхоКГ, в 1-й группе пациентов были зарегистрированы 5 (11,9%) положительных, 31 (73,8%) отрицательная и 6 (14,3%) сомнительных проб. Во 2-й группе было зарегистрировано 6 (9,5%) положительных, 49 (77,7%) отрицательных и 8 (12,8%) сомнительных проб. В 3-й группе было зарегистрировано 12 (44,4%) положительных, 10 (37%) отрицательных и 5 (18,6%) сомнительных проб. Пациентов с положительным результатом стресс-ЭхоКГ в группе с выраженным стенозом КА было статистически значимо больше, чем в группах без стеноза КА и с умеренным стенозом КА ($p=0,012$ и $p=0,001$ соответственно).

По результатам стресс-ЭхоКГ с использованием тредмил-теста и данных КГ у 88,1% пациентов из 1-й группы были основания для пересмотра предварительного диагноза ИБС. У пациентов с положительным результатом стресс-ЭхоКГ без стеноза КА (11,9%) имелись основания для предположения о наличии ИБС с неизменными КА. В исследуемых группах пациентов ангинозная боль во время стресс-ЭхоКГ регистрировалась в небольшом проценте случаев, в то время как по анамнестическим данным стенокардия напряжения была установлена с частотой от 33,3 до 48,1% случаев.

В группе пациентов 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 ($1,13\pm 0,21$ по сравнению 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 после прекращения нагрузки в выявлении стеноза КА был выполнен ROC-анализ, было получено хорошее качество модели (площадь под кривой AUC $0,74\pm 0,07$) с чувствительностью и специфичностью 58 и 91% соответственно для значения $1,02$.

В табл. 3 представлены результаты speckle-tracking стресс-ЭхоКГ. Значения ГПСД ЛЖ в покое статистически значимо не различались между группами пациентов. После прекращения нагрузки у пациентов с выраженным стенозом КА ГПСД ЛЖ была статистически значимо ниже, чем в группе пациентов без стеноза КА и с умеренным стенозом КА ($16,0\pm 4,1\%$ в сравнении с $20,7\pm 3,8\%$; $p<0,001$ и $20,0\pm 3,2\%$; $p<0,001$ соответственно).

В покое ПСИ ЛЖ статистически значимо не различался между группами пациентов. После прекращения нагрузки у пациентов с выраженным стенозом КА ПСИ ЛЖ был статистически значимо выше, чем в группах без стеноза КА и с умеренным стенозом КА ($8,9\%$ [3,8; 10,7%] в сравнении с $3,8\%$ [2,2; 6,8%]; $p=0,012$ и $3,4\%$ [2,2; 6,2%]; $p=0,012$ соответственно).

Анализ диагностического значения ПСИ ЛЖ после прекращения нагрузки в выявлении стеноза КА показал

Таблица 3. Результаты speckle-tracking стресс-эхокардиографии (n=132)

Показатель	1-я группа (n=42)	2-я группа (n=63)	3-я группа (n=27)	p
ГПСД ЛЖ в покое, % (M±SD; 95% ДИ)	19,2±3,1 (18,2–20,2)	19,3±2,7 (18,6–20,0)	18,0±2,8 (16,9–19,1)	P ₁₋₂ =0,811 P ₁₋₃ =0,142 P ₂₋₃ =0,234
ГПСД ЛЖ после прекращения нагрузки, % (M±SD; 95% ДИ)	20,7±3,8 (19,5–21,9)	20,0±3,2 (19,1–20,7)	16,0±4,1 (14,4–17,7)	P ₁₋₂ =0,348 P ₁₋₃ <0,001* P ₂₋₃ <0,001*
Средний ПСИ ЛЖ в покое, % (Me [Q1; Q3])	2,0 [0,9; 4,1]	2,1 [1,3; 4,2]	2,7 [1,9; 5,2]	P ₁₋₂ =0,465 P ₁₋₃ =0,279 P ₂₋₃ =0,154
Средний ПСИ ЛЖ после прекращения нагрузки, % (Me [Q1; Q3])	3,8 [2,2; 6,8]	3,4 [2,2; 6,2]	8,9 [3,8; 10,7]	P ₁₋₂ =0,746 P ₁₋₃ =0,012* P ₂₋₃ =0,012*
Среднее ПСВ ЛЖ в покое, % (Me [Q1; Q3])	20,1 [11,6; 31,8]	22,2 [14,5; 30,2]	27,4 [21,3; 36,2]	P ₁₋₂ =0,578 P ₁₋₃ =0,147 P ₂₋₃ =0,102
Среднее ПСВ ЛЖ после прекращения нагрузки, % (Me [Q1; Q3])	18,4 [10,8; 26,5]	20,9 [14,2; 29,5]	27,4 [18,7; 34,7]	P ₁₋₂ =0,560 P ₁₋₃ =0,036* P ₂₋₃ =0,036*

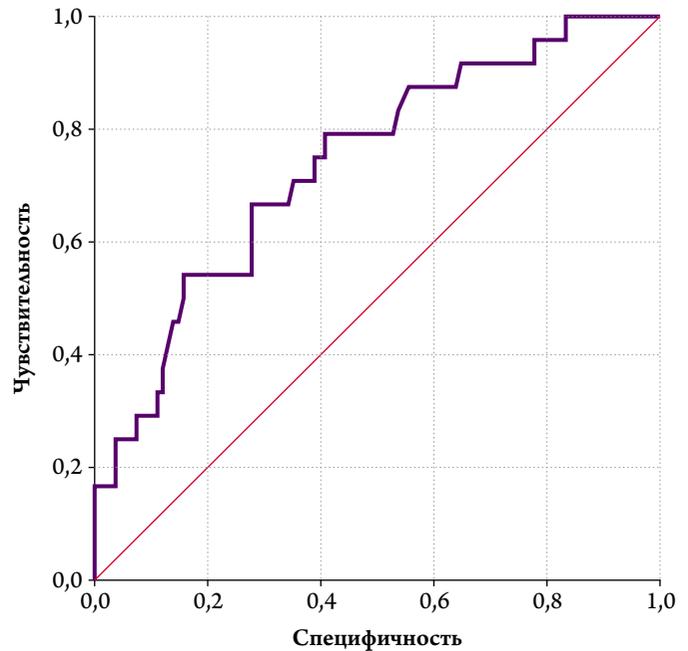
ГПСД ЛЖ – глобальная продольная систолическая деформация левого желудочка; ПСИ ЛЖ – постсистолический индекс левого желудочка; ПСВ ЛЖ – постсистолическое время левого желудочка; ДИ – доверительный интервал. * – значения p менее 0,05.

низкое качество модели, площадь под кривой (AUC) составила 0,57±0,05. Оценка ПСИ ЛЖ после прекращения нагрузки в определении выраженного поражения КА позволила получить хорошее качество модели (AUC 0,74±0,06) с чувствительностью и специфичностью 75 и 61% соответственно для значения 4,9%. На рис. 1 представлена ROC-кривая в оценке выраженного стеноза КА с использованием ПСИ ЛЖ, оцененного после прекращения нагрузки.

В покое среднее ПСВ ЛЖ статистически значимо не различалось между группами. После прекращения нагрузки у пациентов с выраженным стенозом КА среднее ПСВ ЛЖ было статистически значимо больше, чем в группе пациентов без стеноза КА и с умеренным стенозом КА (27,4 [18,7; 34,7] мс в сравнении с 18,4 [10,8; 26,5] мс; p=0,036 и 20,9 [14,2; 29,5] мс; p=0,036 соответственно).

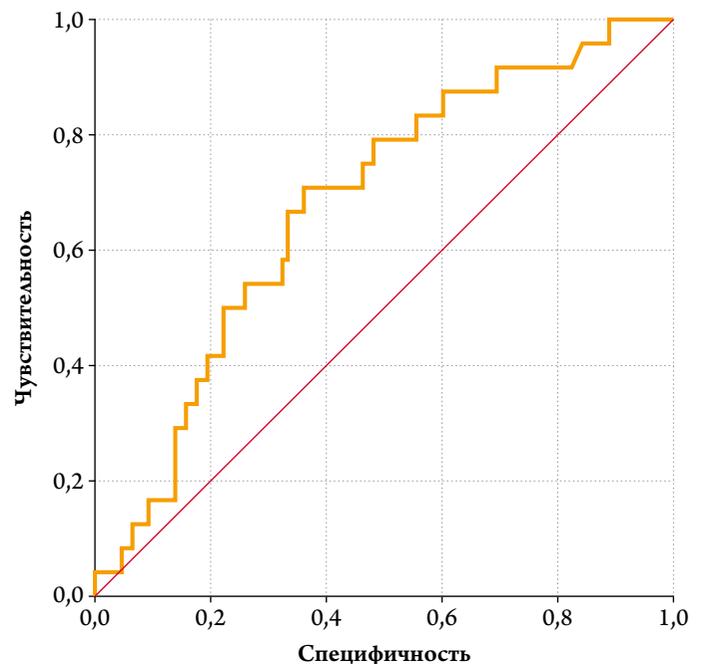
Анализ диагностического значения среднего ПСВ ЛЖ после прекращения нагрузки в выявлении наличия стеноза КА показал низкое качество модели (AUC 0,57±0,06). При оценке среднего ПСВ ЛЖ после прекращения нагрузки в оценке выраженного стеноза КА было получено среднее качество модели (AUC 0,69±0,06) с чувствительностью и специфичностью 71 и 65% соответственно для значения 23,5 мс. На рис. 2 представлена ROC-кривая в оценке выраженного стеноза КА с использованием ПСВ ЛЖ, оцененного после прекращения нагрузки.

Рисунок 1. ROC-кривая, демонстрирующая возможности среднего ПСИ ЛЖ после прекращения нагрузки в оценке выраженного стеноза КА (AUC 0,74±0,06; 95% ДИ 0,63–0,85; p<0,001)



ПСИ ЛЖ – постсистолический индекс левого желудочка; КА – коронарные артерии; ДИ – доверительный интервал.

Рисунок 2. ROC-кривая, демонстрирующая возможности среднего ПСВ ЛЖ после прекращения нагрузки в оценке выраженного стеноза КА (AUC 0,69±0,06; 95% ДИ 0,58–0,80; p=0,004)



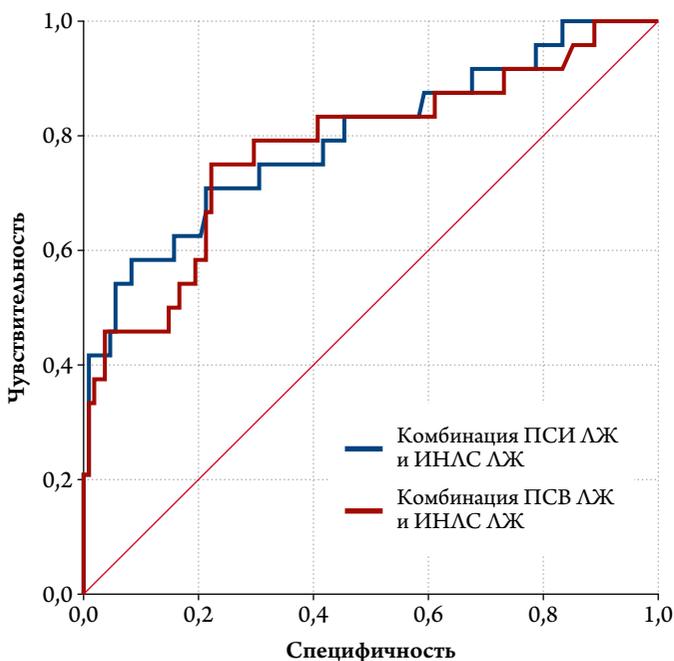
ПСВ ЛЖ – постсистолическое время левого желудочка; КА – коронарные артерии; ДИ – доверительный интервал.

Таблица 4. Динамика значений ПСИ ЛЖ и ПСВ ЛЖ (n=132)

Показатель	Группа пациентов	Значения до нагрузки (1)	Значения после прекращения нагрузки (2)	Дельта значений	P ₁₋₂
ПСИ ЛЖ, % (Me [Q1; Q3])	1-я группа (n=42)	2,0 [0,9; 4,1]	3,8 [2,2; 6,8]	1,2 [0,2; 3,0]	0,042*
	2-я группа (n=63)	2,1 [1,3; 4,2]	3,4 [2,2; 6,2]	1,1 [0,4; 3,3]	0,006*
	3-я группа (n=27)	2,7 [1,9; 5,2]	8,9 [3,8; 10,7]	3,5 [1,1; 7,0]	0,007*
ПСВ ЛЖ, мс (Me [Q1; Q3])	1-я группа (n=42)	20,1 [11,6; 31,8]	18,4 [10,8; 26,5]	2,4 [-5,5; 12,0]	0,261
	2-я группа (n=63)	22,2 [14,5; 30,2]	20,9 [14,2; 29,5]	0,4 [-2,1; 5,9]	0,561
	3-я группа (n=27)	27,4 [21,3; 36,2]	27,4 [18,7; 34,7]	5,4 [-10,9; 15,1]	0,864

ПСИ ЛЖ – постсистолический индекс левого желудочка; ПСВ ЛЖ – постсистолическое время левого желудочка. * – значения p менее 0,05.

Рисунок 3. ROC-кривые, демонстрирующие возможности сочетанной оценки показателей ПСУ ЛЖ и ИНАС ЛЖ после прекращения нагрузки в оценке выраженного стеноза КА



Синяя ROC-кривая демонстрирует диагностические возможности сочетанной оценки среднего ПСИ ЛЖ и ИНАС ЛЖ после прекращения нагрузки в определении выраженного стеноза КА (AUC 0,80±0,06; 95% ДИ 0,69–0,91; p<0,001), красная ROC-кривая – возможности сочетанной оценки среднего ПСВ ЛЖ и ИНАС ЛЖ после прекращения нагрузки в определении выраженного стеноза КА (AUC 0,78±0,06; 95% ДИ 0,67–0,90; p<0,001).

ПСУ ЛЖ – постсистолическое укорочение левого желудочка; ИНАС ЛЖ – индекс нарушений локальной сократимости левого желудочка; ПСИ ЛЖ – постсистолический индекс левого желудочка; КА – коронарные артерии; ПСВ ЛЖ – постсистолическое время левого желудочка; ДИ – доверительный интервал.

Поскольку максимальные значения AUC были получены для среднего ПСИ ЛЖ и среднего ПСВ ЛЖ после прекращения нагрузки, был проведен ROC-анализ сочетанной оценки этих показателей с показателем ИНАС ЛЖ в определении выраженного стеноза КА (рис. 3). При комбинации показателей среднего ПСИ ЛЖ и ИНАС ЛЖ в определении выраженного стеноза КА было получено очень хорошее качество модели (AUC 0,80±0,06), а чувствительность и специфичность составили 71 и 79% соот-

ветственно. При оценке комбинации среднего ПСВ ЛЖ и ИНАС ЛЖ в определении выраженного стеноза КА было получено хорошее качество модели (AUC 0,78±0,06), чувствительность составила 75%, специфичность – 78%.

Как представлено в табл. 4, при оценке динамики среднего ПСИ ЛЖ было выявлено его статистически значимое увеличение после прекращения нагрузки во всех трех группах пациентов. При оценке динамики среднего ПСВ ЛЖ выявлено его статистически незначимое снижение во всех группах пациентов.

Обсуждение

В нашем исследовании при оценке показателей постсистолического укорочения ЛЖ в оценке функциональной значимости степени стенозов КА в группе пациентов с выраженным стенозом КА значения среднего ПСИ ЛЖ и ПСВ ЛЖ после прекращения нагрузки были статистически значимо выше, чем в группах без стеноза КА и с умеренным стенозом КА. Полученные данные согласуются с данными V. Uusitalo и соавт. (2016), согласно которым средний ПСИ ЛЖ после прекращения нагрузки в группе пациентов с выраженным стенозом КА был статистически значимо выше, чем в группе без стеноза КА [16].

В некоторых исследованиях у больных ИБС продемонстрирована высокая диагностическая значимость показателей ПСУ ЛЖ при ЭхоКГ в покое и при стресс-ЭхоКГ с введением добутина [7, 17]. В нашем исследовании оценка диагностической значимости среднего ПСИ ЛЖ и ПСВ ЛЖ в оценке выраженного стеноза КА продемонстрировала несколько более низкие чувствительность и специфичность в сравнении с исследованием E. Rumbinaite и соавт. (2020), в котором региональный ПСИ ЛЖ при стресс-ЭхоКГ с введением добутина на этапе постнагрузки позволял выявлять выраженный односторонний стеноз КА с чувствительностью 87% и специфичностью 92% [18]. В нашем исследовании для среднего ПСИ ЛЖ максимальные чувствительность и специфичность в диагностике выраженного стеноза КА после прекращения нагрузки составили 75 и 61% соответственно. Более низкие чувствительность и специфичность могут быть обусловлены тем, что в исследовании E. Rumbinaite и соавт. оценивался регио-

нальный ПСИ ЛЖ, в то время как в нашем исследовании – средний ПСИ для всех сегментов ЛЖ [18]. Наряду с этим более низкие чувствительность и специфичность в нашем исследовании могут быть обусловлены особенностями пробы с использованием тредмил-теста, а именно регистрацией эхокардиографических показателей после прекращения нагрузки, в отличие от пробы с введением добутина, при которой регистрация эхокардиографических данных происходит непосредственно во время нагрузки.

В нескольких исследованиях показано, что сочетанная оценка показателей продольной деформации ЛЖ и ИНАС ЛЖ позволяет увеличить чувствительность и специфичность speckle-tracking стресс-ЭхоКГ в выявлении выраженного стеноза КА [19–21]. Более того, сочетанная оценка этих показателей потенциально может позволить снизить количество ложноположительных результатов стресс-ЭхоКГ [19, 20]. При сочетанной оценке ПСИ ЛЖ и ПСВ ЛЖ с ИНАС ЛЖ после прекращения нагрузки нам удалось получить более высокую чувствительность в определении выраженного стеноза КА, в сравнении с изолированной оценкой только ИНАС ЛЖ.

Следует отметить, что в нашем исследовании ПСИ ЛЖ в группе без стеноза КА в покое был сопоставим с полученным в исследовании P. Brainin и соавт. (2019), оценивавшим ПСИ ЛЖ у здоровых лиц, и составил 2% [0,9; 4,1] в сравнении с 2% [0,7; 4,8] % соответственно [22]. Эти данные позволяют определить примерные значения ПСИ ЛЖ в покое у пациентов без стеноза КА.

Регистрация ПСУ ЛЖ у здоровых лиц значительно затрудняет интерпретацию его показателей. Вследствие этого особый интерес представляет оценка динамики ПСУ ЛЖ у пациентов с ИБС. Ранее была описана динамика изменения среднего ПСИ ЛЖ у пациентов с выраженным стенозом КА и без стеноза КА при speckle-tracking стресс-ЭхоКГ с введением добутина [16]. Средний ПСИ ЛЖ увеличивался в обеих группах при введении малых доз добутина и на пике нагрузки, на этапе постнагрузки снижался в группе без выраженного стеноза КА, а в группе с выраженным стенозом КА увеличился [16]. В нашем исследовании во всех группах пациентов регистрировался статистически значимый прирост среднего ПСИ ЛЖ после прекращения нагрузки, однако в группе с выраженным поражением КА прирост был более выражен. Таким образом, при оценке динамики ПСУ ЛЖ в определении функциональной значимости степени стеноза КА следует ориентироваться на выраженность прироста среднего ПСИ ЛЖ. При оценке ПСВ ЛЖ отмечалось статистически незначимое снижение среднего ПСВ ЛЖ во всех группах, кроме группы с выраженным стенозом КА. Интерпретация среднего ПСВ ЛЖ представляется более затруднительной, поскольку этот показатель является временным и при увеличении ЧСС снижается независимо от наличия

или отсутствия стеноза КА. По нашим данным, у пациентов с выраженным стенозом КА среднее ПСВ ЛЖ снижалось в меньшей степени, чем в других группах пациентов.

Поскольку в нашем исследовании были продемонстрированы диагностические возможности показателей ПСУ ЛЖ в оценке выраженного стеноза КА, они могут быть потенциально значимыми у пациентов с ИБС. Тем не менее, так как средние значения показателей в настоящее время необходимо рассчитывать вручную, их оценка требует больших временных затрат, что ограничивает их использование в клинической практике.

Выводы

1. Средний постсистолический индекс левого желудочка у всех пациентов увеличивается в ответ на нагрузку. У пациентов с выраженным стенозом коронарных артерий увеличение среднего постсистолического индекса левого желудочка более выражено (от исходных 2,7 [1,9; 5,2] до 8,9 [3,8; 10,7]; $p=0,007$), чем у пациентов без стеноза коронарных артерий (от исходных 2,0 [0,9; 4,1] до 3,8 [2,2; 6,8]; $p=0,042$).
2. Оценка среднего постсистолического времени левого желудочка представляется затруднительной при стресс-эхокардиографии, поскольку этот показатель является временным, и при увеличении частоты сердечных сокращений его значения снижаются независимо от наличия или отсутствия стеноза коронарных артерий.
3. Значение среднего постсистолического индекса левого желудочка после прекращения нагрузки более 4,9% позволяет предполагать выраженный стеноз коронарных артерий с чувствительностью 75% и специфичностью 61% (площадь под кривой AUC $0,74\pm 0,06$; 95% доверительный интервал 0,63–0,85; $p<0,001$).
4. Сочетанная оценка среднего постсистолического индекса левого желудочка и индекса нарушений локальной сократимости левого желудочка и среднего постсистолического времени левого желудочка и индекса нарушений локальной сократимости левого желудочка позволяет увеличить чувствительность стресс-эхокардиографии в выявлении выраженного стеноза коронарных артерий.

Ограничения исследования

Основным ограничением нашего исследования было включение в группу контроля не здоровых добровольцев, а пациентов с подозрением или с верифицированной ИБС. Безусловно, именно такой подход используется в большинстве исследований, однако это может приводить к более низким значениям показателей деформации вследствие наличия у этих пациентов факторов риска развития ИБС и сопутствующих заболеваний. В частности, в исследование были включены пациенты с гипертонической болезнью, которая может влиять на показатели деформации.

Вторым ограничением исследования стал относительно небольшой размер группы пациентов с выраженным стенозом КА в сравнении с двумя другими группами пациентов.

Третьим ограничением исследования являлось то, что показатель фракционного резерва кровотока при КТ

не оценивался. Анатомическая степень стеноза КА оценивалась визуально интервенционным хирургом.

Конфликт интересов не заявлен.

Статья поступила 05.06.2021

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 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
- Picano E, Lattanzi F, Orlandini A, Marini C, L'Abbate A. Stress echocardiography and the human factor: The importance of being expert. *Journal of the American College of Cardiology*. 1991;17(3):666–9. DOI: 10.1016/S0735-1097(10)80182-2
- Voigt J, Lindenmeier G, Exner B, Regenfus M, Werner D, Reulbach U et al. Incidence and characteristics of segmental postsystolic longitudinal shortening in normal, acutely ischemic, and scarred myocardium. *Journal of the American Society of Echocardiography*. 2003;16(5):415–23. DOI: 10.1016/S0894-7317(03)00111-1
- Terkelsen C, Hvitfeldt Poulsen S, Nørgaard BL, Flensted Lassen J, Gerdes JC, Sloth E et al. Does Postsystolic Motion or Shortening Predict Recovery of Myocardial Function After Primary Percutaneous Coronary Intervention? *Journal of the American Society of Echocardiography*. 2007;20(5):505–11. DOI: 10.1016/j.echo.2006.10.004
- Brainin P, Haahr-Pedersen S, Sengelov M, Olsen FJ, Fritz-Hansen T, Jensen JS et al. Presence of post-systolic shortening is an independent predictor of heart failure in patients following ST-segment elevation myocardial infarction. *The International Journal of Cardiovascular Imaging*. 2018;34(5):751–60. DOI: 10.1007/s10554-017-1288-7
- 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
- Voigt J-U, Exner B, Schmiedehausen K, Huchzermeyer C, Reulbach U, Nixdorff U et al. Strain-Rate Imaging During Dobutamine Stress Echocardiography Provides Objective Evidence of Inducible Ischemia. *Circulation*. 2003;107(16):2120–6. DOI: 10.1161/01.CIR.0000065249.69988.AA
- Rambaldi R, Bax JJ, Rizzello V, Biagini E, Valkema R, Roelandt JRTC et al. Post-systolic shortening during dobutamine stress echocardiography predicts cardiac survival in patients with severe left ventricular dysfunction. *Coronary Artery Disease*. 2005;16(3):141–5. DOI: 10.1097/00019501-200505000-00002
- Aronov D.M., Lupanov V.P. Functional tests in cardiology. -M.: MEDpress-inform;2007. - 107 p. [Russian: Аронов Д.М., Лупанов В.П. Функциональные пробы в кардиологии. - М.: МЕДпресс-информ, 2007. - 107с]. ISBN 978-5-98322-268-7
- Poon K, Walters D. Indications for Coronary Angiography. [DOI: 10.5772/19106]. In: *Advances in the Diagnosis of Coronary Atherosclerosis*. [ISBN: 978-953-307-286-9] Kirac S, editor InTech;2011.
- Barbarash O.L., Karpov Yu.A., Kashtalov V.V., Boshchenko A.A., Ruda M.Ya., Akchurin R.S. et al. 2020 Clinical practice guidelines for Stable coronary artery disease. *Russian Journal of Cardiology*. 2020;25(11):201–50. [Russian: Барбараш О.Л., Карпов Ю.А., Кашталов В.В., Бощенко А.А., Руда М.Я., Акчурин Р.С. и др. Стабильная ишемическая болезнь сердца. Клинические рекомендации 2020. Российский кардиологический журнал. 2020;25(11):201-50]. DOI: 10.15829/1560-4071-2020-4076
- 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
- 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., Алексин 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
- Oleynikov V.E., Smirnov Yu.G., Galimskaya V.A., Gundarev E.A., Burko N.V. New capabilities in assessing the left ventricular contractility by two-dimensional speckle tracking echocardiography. *The Siberian Journal of Clinical and Experimental Medicine*. 2020;35(3):79–85. [Russian: Олейников В.Э., Смирнов Ю.Г., Галимская В.А., Гундарев Е.А., Бурко Н.В. Новые возможности оценки сократимости левого желудочка методом двухмерной speckle tracking эхокардиографии. *Сибирский журнал клинической и экспериментальной медицины*. 2020;35(3):79-85]. DOI: 10.29001/2073-8552-2020-35-3-79-85
- 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
- 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
- Onishi T, Uematsu M, Watanabe T, Fujita M, Awata M, Iida O et al. Objective Interpretation of Dobutamine Stress Echocardiography by Diastolic Dyssynchrony Imaging: A Practical Approach. *Journal of the American Society of Echocardiography*. 2010;23(10):1103–8. DOI: 10.1016/j.echo.2010.06.031
- Rumbinaite E, Karuzas A, Verikas D, Kazakauskaite 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
- Elamragy AA, Abdelwahab MA, Elremisy DR, Hassan M, Ammar WA, Taha HS. Additional diagnostic accuracy of global longitudinal strain at peak dobutamine stress in patients with moderate pretest probability of coronary artery disease. *Echocardiography*. 2020;37(8):1222–32. DOI: 10.1111/echo.14803
- Ilardi F, Santoro C, Maréchal P, Dulgheru R, Postolache A, Esposito R et al. Accuracy of global and regional longitudinal strain at peak of dobutamine stress echocardiography to detect significant coronary artery disease. *The International Journal of Cardiovascular Imaging*. 2021;37(4):1321–31. DOI: 10.1007/s10554-020-02121-y
- 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
- 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