

Клиническая значимость продольной деформации левого желудочка при ишемической болезни сердца и некоронарогенной патологии

Эндже Гамировна Акрамова*

Центральная городская клиническая больница №18, г. Казань, Россия;
Казанская государственная медицинская академия, г. Казань, Россия

Реферат

Значения глобальной продольной систолической деформации левого желудочка обладают достаточно высокой диагностической информативностью, предшествуя снижению фракции выброса левого желудочка, локальной сократимости и повышению содержания тропонинов. Её показатели не только отражают ранние нарушения деформации при ишемической болезни сердца, но и могут служить чувствительным параметром формирования систолической дисфункции при заболеваниях любого генеза. Исследование глобальной деформации левого желудочка при сохранности традиционных эхокардиографических параметров в пределах нормы (фракции выброса, локальной сократимости, толщины стенок, состояния клапанов, диастолической функции и др.) позволяет выделить группу риска для последующего целенаправленного поиска признаков коронарного атеросклероза. Чувствительность и специфичность продольной деформации по данным спекл-трекинг эхокардиографии при верификации миокардитов и кардиомиопатий выше, чем по результатам магнитно-резонансной томографии. Доказана прогностическая ценность значений деформации в кратко- и долгосрочной перспективе в отношении повторных госпитализаций и смерти в связи с прогрессированием сердечной недостаточности. Динамическое наблюдение за величиной глобальной продольной деформации позволяет выявить побочные кардиотоксические эффекты препаратов у пациентов с онкологическими и ревматическими заболеваниями. Многочисленные исследования свидетельствуют о том, что значения глобальной продольной деформации у практически здоровых варьируют от -18 до -25% в зависимости от используемой программы расчёта и выделяют данный показатель из ряда других ультразвуковых параметров. Привлекательная по наглядности цветная маркировка численных значений сегментарной систолической деформации левого желудочка в виде «бычьего глаза» значительно менее воспроизводима, чем величина официально рекомендованной глобальной деформации. Различия пороговых значений глобальной и сегментарной продольной деформации, обусловленные программным обеспечением ультразвуковых сканеров, и дефицит стандартизованных клинических наблюдений и статистических обобщений должны стимулировать дальнейшие исследования в данной области.

Ключевые слова: спекл-трекинг эхокардиография, глобальная продольная систолическая деформация, ишемическая болезнь сердца, кардиомиопатии, ревматические заболевания.

Для цитирования: Акрамова Э.Г. Клиническая значимость продольной деформации левого желудочка при ишемической болезни сердца и некоронарогенной патологии. *Казанский мед. ж.* 2019; 100 (2): 295–302. DOI: 10.17816/KMJ2019-295.

Clinical significance of left ventricular longitudinal deformation in coronary heart disease and non-coronary pathology

E.G. Akramova
Central City Clinical Hospital №18, Kazan, Russia;
Kazan State Medical Academy, Kazan, Russia

Abstract

The values of the global longitudinal systolic deformation of the left ventricle have sufficiently high diagnostic informativeness, preceding the reduction of the left ventricular ejection fraction, local contractility and increase

of troponins. Its indicators reflect the early deformation disorders not only in coronary heart disease, but can serve as a sensitive parameter of the formation of systolic dysfunction in diseases of any origin. The study of the global deformation of the left ventricle with the preservation of traditional echocardiographic parameters within the norm (ejection fraction, local contractility, wall thickness, valve status, diastolic function, etc.) allows identifying a risk group for the subsequent targeted search for signs of coronary atherosclerosis. The sensitivity and specificity of longitudinal deformation by speckle-tracking echocardiography in the verification of myocarditis and cardiomyopathies are higher than those of magnetic resonance imaging. The prognostic value of the levels of deformation in the short and long term in relation to rehospitalization and death due to the progression of heart failure is proved. Dynamic observation of the global longitudinal deformation allows revealing the side cardiotoxic effects of drugs in patients with cancer and rheumatic diseases. Numerous studies show that the values of global longitudinal deformation in healthy individuals vary from -18 to -25% depending on the calculation program used, distinguishing this parameter from a number of other ultrasonic parameters. Illustrative color marking of numerical values of segmental systolic deformation of the left ventricle in the form of a «bull's eye» is much less reproducible than the value of the officially recommended global deformation. The differences in global and segmental longitudinal strain thresholds due to ultrasound scanner software and the lack of standardized clinical observations and statistical generalizations should stimulate further research in this area.

Keywords: speckle-tracking echocardiography, global longitudinal systolic deformation, coronary heart disease, cardiomyopathy, rheumatic diseases.

For citation: Akramova E.G. Clinical significance of left ventricular longitudinal deformation in coronary heart disease and non-coronary pathology. *Kazan medical journal*. 2019; 100 (2): 295–302. DOI: 10.17816/KMJ2019-295.

Широкий спектр заболеваний различного генеза, сердечно-сосудистые осложнения и коморбидности вызывают морфофункциональную перестройку миокарда левого желудочка (ЛЖ), развитие сердечной недостаточности и преждевременную смерть в последующем.

Ключевым элементом ультразвукового исследования ЛЖ служит анализ глобальной систолической функции, на практике нередко ограничивающийся оценкой фракции выброса (ФВ), снижение которой рассматривают как предиктор неблагоприятного развития кардиальных событий, часто сочетающийся с развитием гипертрофии и/или диастолической дисфункции ЛЖ [1].

Однако чёткое снижение ФВ ЛЖ наблюдают на развёрнутой стадии поражения всех компонентов систолического сокращения (продольной, циркулярной и радиальной деформации, скручивания, раскручивания и вращения) и всех слоёв стенки (субэпикардального, среднего и субэндокардального), тогда как предупреждение неблагоприятного течения событий и сохранение качества жизни пациента предполагают выявление начальных признаков поражения миокарда.

Последние рекомендации (2015) наряду с определением ФВ ЛЖ предлагают проведение расчёта глобальной продольной систолической деформации (GLS — от англ. global longitudinal strain) по спекл-трекинг технологии, исходя из того, что её изменения объективнее отражают формирующееся структурно-функциональное ремоделирование миокарда [2]. В норме значе-

ния GLS варьируют от -18 до -25% в зависимости от используемой программы расчёта [2–4].

Привлекательность данной технологии заключается и в том, что анализ сопровождается наглядной демонстрацией карты-схемы, так называемого «бычьего глаза», пиковой систолической деформации всех сегментов ЛЖ с численными значениями и их цветной маркировкой, хотя данное представление сегментарной деформации в настоящее время значительно менее воспроизводимо, чем величина GLS [5].

Спекл-трекинг эхокардиография при ишемической болезни сердца (ИБС). Среди болезней системы кровообращения самой частой причиной обращаемости в медицинские организации России (28% случаев) бывает ИБС. ЛЖ деформируется в продольном направлении из-за сокращения и расслабления субэндокардиальных продольных мышечных волокон, более чувствительных к ишемии, нежели другие слои миокарда [3].

Диагностика ИБС при сохранённой систолической функции в связи с ограничениями использования стресс-теста (нестабильная стенокардия, нарушения ритма и проводимости, тяжёлая дыхательная недостаточность) и коронарографии, признанной «золотым стандартом», но которую не следует проводить пациентам со стабильной стенокардией, отказывающимся от инвазивного лечения, представляет сложности.

Спекл-трекинг технология в состоянии пока в отсутствие региональных аномалий

Таблица 1. Прогностическая значимость показателей глобальной продольной систолической деформации (GLS) относительно сердечно-сосудистых событий при различных заболеваниях

Основной диагноз	GLS, %	Прогноз	Источник
Ревматоидный артрит	>-16	Сердечно-сосудистые события в течение 16 мес	[44]
Аортальный стеноз	-14,5±4,4	Смерть через 37±13 мес	[45]
Постинфарктный кардиосклероз	-14,8±4,7	Желудочковая тахикардия, смерть	[20]
Острый инфаркт миокарда с ФВ >40%	>-14	Госпитализация через 30 мес, смерть	[18]
Гипертрофическая кардиомиопатия	>-13	Госпитализация, смерть	[28]
Общая популяция	≥12	Смерть	[19]
Острый инфаркт миокарда	-10,4	Увеличение объёма ЛЖ на >20% и ФВ ЛЖ >5% в течение 6 мес	[5]
Волчаночный миокардит	-9,5 (-13÷-9)	В конце лечения ФВ ЛЖ <40%	[1]
Дилатационная кардиомиопатия	-6,4±3,3	Желудочковая тахикардия, смерть	[22]

Примечание: ФВ — фракция выброса; ЛЖ — левый желудочек.

движения стенок (дис-, а-, гипокинеза) позволяет объективизировать дальнейшее углублённое обследование при высокой специфичности (79%) и чувствительности (79%), прежде всего, в связи с возможностью диагностировать трёхсосудистое или левое коронарное поражение, проявляющееся ухудшением сократимости в продольном направлении [6].

При стабильной стенокардии пороговым значением GLS в зависимости от программного обеспечения определили величины более -17,9% (n=38) или -19,0% (n=145) [6, 7]. Сегментарную деформацию в первом исследовании независимо от локализации стеноза наблюдали в базальных и медиальных сегментах, во втором — в сегментах, соответствующих зоне кровоснабжения стенозированной венечной артерии.

При нестабильной стенокардии (n=61) на фоне отрицательного тропонина и сохранённой ФВ ЛЖ (более 50%) снижение GLS более -17,5% позволяет выделить людей со значимым стенозом венечных артерий (чувствительность 87%, специфичность 82%) [8].

У пациентов положительный результат стресс-эхокардиографии с добутамином (n=100) проявляется визуализацией двух-трёх сегментов с нарушенной локальной сократимостью [индекс движения стенки (WMSI — от англ. wall motionscore index) от 1,06±0,99 до 1,20±0,20], что сопровождается тенденцией к снижению и глобальной деформации от -21,1±3,3 до -19,9±4,3%, значения которой остаются в пределах нормы [9].

Динамику глобальной деформации после чрескожного коронарного вмешательства со стентированием в литературе описывают по-разному. Одни авторы в 1-е сутки после опе-

рации (n=40) наблюдали незначимые на протяжении наблюдения колебания ФВ ЛЖ (43,2±11,0 и 45,6±11,7%) и GLS (от -12,4±4,8 до -13,4±4,9%) [10]. Другие исследователи в течение 1-й недели после операции (n=50) у 44% больных при отсутствии клинических и эхокардиографических изменений (ФВ ЛЖ более 55%) регистрировали ухудшение GLS (медиана варьировала от -16,8 до -14,2%) на фоне повышения содержания кардиоспецифических ферментов, что расценено как развитие микрососудистой эмболии [11].

У пациентов с хронической ишемической дисфункцией ЛЖ продемонстрирована взаимосвязь глобальной деформации и площади фиброза, установленной при магнитно-резонансной томографии (r=0,62; p <0,001) [12]. Максимальное снижение глобальной деформации наблюдали при локализации рубца в области верхушки ЛЖ (n=49) [13].

GLS, будучи компонентом систолического сокращения, коррелирует с ФВ ЛЖ (n=131 и 28; r=-0,81 и -0,95 соответственно; p <0,001) и локальной сократимостью (WMSI: n=28; r=0,7; p <0,001) и максимально снижается при значительной систолической дисфункции [1, 14–16]. На общей популяции (n=1296) показано, что величина снижения GLS отражает не только тяжесть систолической дисфункции, но и степень кардиоваскулярного риска, причём в большей степени в отношении развития хронической сердечной недостаточности, чем инфаркта миокарда [17] (табл. 1).

Снижение GLS до -13,9±3,0% предлагают использовать для краткосрочного (внутригоспитального и 6-месячного) прогнозирования повышенного риска смерти при инфаркте миокарда с подъёмом сегмента ST (медиана ФВ

ЛЖ 46%) в группе пациентов с хронической обструктивной болезнью лёгких [15]. При инфаркте миокарда с ФВ ЛЖ >40% (n=849) и значениях GLS более -14% в последующие 30 мес наблюдения повышается вероятность госпитализации [относительный риск (ОР) 5,3] и смерти (ОР 12,7) из-за прогрессирования сердечной недостаточности [18].

Значения $GLS \geq -12\%$, эквивалентные ФВ ЛЖ $\leq 35\%$, рекомендуют для прогнозирования риска преждевременной смерти (n=91) [19]. Вместе с тем приводят и позитивные примеры: через 6 мес после острого инфаркта миокарда (n=81) при значениях GLS менее -10,4% и сегментарной деформации -5,3% происходило увеличение ФВ ЛЖ на 5% и конечного диастолического объёма на 20% [5].

S.D. Roes и соавт. (2009) предлагают использовать величину сегментарной деформации -4,5% (n=90) в качестве критерия разграничения жизнеспособного миокарда и трансмуральной рубцовой ткани, которые по результатам магнитно-резонансной томографии в сегментах без рубцовой ткани составили $-10,4 \pm 5,2\%$; с трансмуральной рубцовой тканью — $0,6 \pm 4,9\%$; $p < 0,001$ (чувствительность и специфичность определили по 81%) [12]. По мнению других исследователей, локальная деформация отражает лишь наличие рубца, но не позволяет судить о его жизнеспособности (n=49) [13].

Снижение GLS до значений $-12,0 \pm 3,0\%$ у пациентов с постинфарктным кардиосклерозом (n=569) при тяжёлой систолической дисфункции (ФВ ЛЖ <35%) может служить дополнением к регистрации желудочковых аритмий, показанием для имплантации кардиовертера-дефибриллятора [20].

Следовательно, несмотря на высокосильную зависимость сильной степени между ФВ ЛЖ и GLS, снижение GLS, характеризующейся устойчивостью, регистрируют раньше. Оно предшествует изменениям локальной сократимости, выявляемым стресс-эхокардиографией, и повышению содержания тропонинов при остром коронарном синдроме, отражая начальные нарушения в ишемическом каскаде [1, 21].

Особенности изменений продольной деформации при некоронарогенной патологии. Нарушения систолической функции ЛЖ происходят не только при ИБС, но и при различных некоронарогенных заболеваниях. Так, при дилатационной кардиомиопатии неишемического генеза (n=94) регистрировали значительные снижения ФВ ЛЖ ($38 \pm 13\%$) и GLS (до $-12,3 \pm 5,2\%$), усугубляющиеся с появлением аритмий до $28 \pm 10\%$ и $-6,4 \pm 3,3\%$ соответственно [22].

Гипертрофическая кардиомиопатия (n=180) на фоне сохранной ФВ ЛЖ ($61 \pm 7\%$) приводила к снижению GLS до $-16,4 \pm 3,7\%$ [23]. Выявлена связь глобальной деформации с максимальной толщиной стенки ($r=0,58$; $p < 0,001$; n=180), желудочковыми аритмиями (ухудшение от $-13,6 \pm 5,6$ до $-9,0 \pm 4,0\%$; $p=0,006$; n=63), интерстициальным фиброзом ($r=0,36$; $p=0,003$; n=24), количеством фиброзированных сегментов ($r=0,47$; $p=0,002$; n=39) и общим фиброзом миокарда ($r=0,46$; $p=0,003$; n=39) [23–25]. В сегментах деформация снижается при толщине миокарда более 15 мм и становится более значительной при развитии фиброза (n=59) [26]. В зоне утолщения верхушки ЛЖ до $16,2 \pm 2,7$ мм (n=20) сегментарная деформация снижается в среднем слое миокарда до $-7,3 \pm 8,8\%$ при сохранении в субэндокардиальном слое ($-22,8 \pm 7,8\%$) [27]. У пациентов с гипертрофической кардиомиопатией многофакторный статистический анализ продемонстрировал значимую связь снижения GLS (при значениях более -13%) с прогрессированием сердечной недостаточности [28].

Снижение GLS на фоне сохранной ФВ ЛЖ наблюдали не только при значительной гипертрофии (гипертрофической кардиомиопатии), но и при небольшой/умеренной степени гипертрофии, например при аортальном стенозе (n=146) и артериальной гипертензии (n=200) [29, 30].

На практике определённые трудности представляет дифференциальная диагностика рестриктивной кардиомиопатии и констриктивного перикардита, обладающих схожими клиническими и гемодинамическими параметрами, но имеющих разный прогноз и тактику лечения. По результатам импульсно-волнового режима тканевой доплерографии (n=166) ранняя диастолическая скорость (e') движения септального конца фиброзного кольца митрального клапана при рестрикции определяется менее 6 см/с, а при констрикции не изменялась (более 8 см/с), приводя к реверсии митрального кольца: e' латеральная становится меньше e' медиальной [31]. Технология спекл-трекинг не только подтвердила приведённые различия, но по данным, полученным на 87 пациентах, позволила рекомендовать объективный формализованный показатель. При констрикции соотношение деформации боковой стенки (как ЛЖ, так и правого желудочка в четырёхкамерной апикальной позиции) и деформации перегородки снижается (ЛЖ= $0,8 \pm 0,2$; правый желудочек $0,8 \pm 0,4$), при рестрикции оно остаётся в норме ($1,1 \pm 0,2$ и $1,4 \pm 0,5$ соответственно) [32].

К вторичным рестриктивным кардиомиопатиям относят кардиальный амилоидоз, в начале развития которого ФВ ЛЖ остаётся в пределах нормы и значительно снижается на терминальной стадии. Рестриктивная и гипертрофическая кардиомиопатии имеют одинаковую ультразвуковую картину — концентрическое утолщение миокарда обоих желудочков. В отличие от гипертрофической кардиомиопатии утолщение стенок камер сердца при амилоидозе происходит не за счёт гипертрофии кардиомиоцитов, а из-за отложения амилоидного белка в межклеточное пространство миокарда. При амилоидозе сердца соотношение среднего апикального показателя к сумме средней базальной и медиальной деформации соответствует единице ($n=55$), тогда как при гипертрофической кардиомиопатии существенно ниже [33].

На 50 пациентах показано, что через $21,7 \pm 23,4$ мес после развития острого миокардита с сохранной ФВ ЛЖ (62,1%) деформация снижается до $-17,8\%$ и преимущественно за счёт субэпикардальной составляющей [34]. При хроническом миокардите ($n=32$), подтверждённом эндомикардиальной биопсией, с сохранной ФВ ЛЖ значения GLS в области $-17,0 \pm 2,4\%$ обладали более высокой чувствительностью (82%), нежели результаты томографии (54%), при равной специфичности (70%) двух методов [35].

Влияние на степень снижения деформации, тяжести, длительности и неконтролируемости основного заболевания показано при аортальном стенозе ($n=146$), артериальной гипертензии ($n=200$), синдроме обструктивного апноэ сна ($n=31$), ревматоидном артрите ($n=55$) и алкогольной кардиомиопатии ($n=41$) [29, 30, 36–38]. Различия заключались в том, что при синдроме обструктивного апноэ сна и метаболическом синдроме продольная деформация снижалась преимущественно на апикальном и медиальном уровнях, тогда как при артериальной гипертензии — в основном на базальном уровне [36, 39, 40].

Среди пациентов с трансплантацией сердца ($n=47$) выявили корреляцию очень высокой значимости между площадью фиброза ЛЖ и GLS ($r=0,75$; $p=0,0001$). С другими показателями систолической функции (глобальная циркулярная деформация, кручение, систолическая экскурсия и скорость движения фиброзного кольца митрального клапана) связь была заметно слабее [41].

У пациентов, страдающих системной склеродермией ($n=19$), величина GLS остаётся в границах нормы, но статистически значимо

изменяется, преимущественно за счёт базальных сегментов, при относительной стабильности ФВ ЛЖ, варьирующей в области $63,3 \pm 4,2$ и $63,2 \pm 5,0\%$ в динамическом наблюдении: в начале болезни $-22,0 \pm 2,3\%$, в дальнейшем $-20,8 \pm 3,5\%$ ($p=0,04$) [42]. Отсроченное снижение объясняют не только и не столько прогрессированием фиброза, сколько кардиотоксическим воздействием принимаемых препаратов. При системной склеродермии генерогенное снижение деформации не соответствует зонам кровоснабжения какой-либо конкретной венечной артерии, что объясняют диссеминированным неоднородным характером фиброза при данной патологии, распространяющегося по всему миокарду в обоих желудочках [43].

Показана прогностическая ценность глобальной деформации в долгосрочной перспективе. При ревматоидном артрите ($n=209$) снижение деформации более -16% повышало риск возникновения сердечно-сосудистых событий на протяжении последующих 16 мес (диапазон $10 \div 21$ мес) [44]. При аортальном стенозе GLS определили сильным независимым предиктором смертей от любых причин ($OR=1,38$; $p < 0,001$), соответствующим у выживших $-16,7 \pm 3,6$, умерших в течение 37 ± 13 мес $-14,5 \pm 4,4\%$ ($p < 0,01$) [29, 45].

Долго о развитии сердечной дисфункции, связанной с химиотерапией пациентов с онкологическими заболеваниями, судили по изменению величины ФВ ЛЖ. При двухмерной эхокардиографии надёжным (истинным) считали обнаружение различий ФВ ЛЖ $9,8\%$ ($9,0 \div 10,8\%$), что считают снижением значительной степени [46]. Наблюдение за данным контингентом показало, что при сохранной ФВ ЛЖ субклиническая дисфункция присутствует уже при снижении GLS на 15% исходной величины. Данный факт стал основанием рекомендовать расчёт GLS для оценки кардиотоксичности получаемой химиотерапии [47].

GLS, по приведённым публикациям, выступает как чувствительный критерий формирования систолической дисфункции ЛЖ. Последующие более масштабные целенаправленные исследования позволили бы использовать её в стандартах диагностики, при выявлении побочных кардиотоксических эффектов терапии и прогнозировании развития осложнений.

Заключение. Клиническая значимость применения спекл-трекинг эхокардиографии состоит не только в диагностической информативности, но и в прогностической и терапевтической

ценности. Относительно традиционной эхокардиографии, магнитно-резонансной томографии, коронарной ангиографии и эндомиокардиальной биопсии спекл-трекинг технология служит новым методом диагностики, прогнозирования и оценки эффективности лечения, причём находится на этапе накопления данных.

Многочисленные оригинальные исследования и обзоры подтверждают, что снижение продольной деформации предшествует уменьшению ФВ ЛЖ, локальной сократимости и повышению содержания сердечных тропонинов, отражая ранние нарушения деформации при ИБС и являясь чувствительным параметром формирования систолической дисфункции при заболеваниях любого генеза при динамическом наблюдении. Тем не менее, официальные протоколы по диагностике повреждения миокарда не включают анализ деформации по спекл-трекинг технологии. Важным препятствием для такого шага становятся, вероятнее всего, небольшое количество стандартизованных клинических наблюдений, дефицит статистических обобщений (метаанализов) и сложности совмещения результатов, полученных с помощью различных программных продуктов.

Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов по представленной статье.

ЛИТЕРАТУРА

- Du Toit R., Herbst P.G., van Rensburg A. et al. Speckle tracking echocardiography in acute lupus myocarditis: comparison to conventional echocardiography. *Echo Res. Practice*. 2017; 4: 9–19. DOI: 10.1530/ERP-17-0005.
- Lang R.M., Badano L.P., Mor-Avi V. 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. *J. Am. Society Echocardiography*. 2015; 28: 1–39. DOI: 10.1093/ehjci/jev014.
- Smiseth O.A., Torp H., Opdahl A. et al. Myocardial strain imaging: how useful is it in clinical decision making? *Eur. Heart J.* 2016; 37: 1196–1207b. DOI: 10.1093/eurheartj/ehv529.
- Patrianakos A.P., Zacharaki A.A., Kalogerakis A. et al. Two-dimensional global and segmental longitudinal strain: are the results from software in different high-end ultrasound systems comparable? *Echo Res. Practice*. 2015; 2: 29–39. DOI: 10.1530/ERP-14-0070.
- Hu B., Zhou Q., Chen J. et al. Prediction for improvement and remodeling in first-onset myocardial infarction by speckle tracking echocardiography: Is global or regional selection better? *Ultrasound Med. Biol.* 2017; 43: 2452–2460. DOI: 10.1016/j.ultrasmedbio.2017.06.001.
- Choi J.O., Cho S.W., Song Y.B. et al. Longitudinal 2D strain at rest predicts the presence of left main and three vessel coronary artery disease in patients without regional wall motion abnormality. *Eur. J. Echocardiography*. 2009; 10: 695–701. DOI: 10.1093/ejehocardi/jep041.
- Zuo H.J., Yang X.T., Liu Q.G. et al. Global longitudinal strain at rest for detection of coronary artery disease in patients without diabetes mellitus. *Curr. Med. Sci.* 2018; 3: 413–421. DOI: 10.1007/s11596-018-1894-1.
- Marques-Alves P., Espirito-Santo N., Baptista R. et al. Two-dimensional speckle-tracking global longitudinal strain in high-sensitivity troponin-negative low-risk patients with unstable angina: a «resting ischemia test»? *Intern. J. Cardiovasc. Imaging*. 2018; 4: 561–568. DOI: 10.1007/s10554-017-1269-x.
- Aggeli C., Lagoudakou S., Felekos I. et al. Two-dimensional speckle tracking for the assessment of coronary artery disease during dobutamine stress echo: clinical tool or merely research method *Cardiovasc. Ultrasound*. 2015; 13: 43. DOI: 10.1186/s12947-015-0038-z.
- Rifqi S., Sungkar S., Sobirin M.A. et al. Early recovery of left ventricular function after revascularization of coronary artery disease detected by myocardial strain. *Res. Art. Biomed. Res.* 2017; (4): 1487–1492.
- Павлюкова Е.Н., Гладких Н.Н., Баев А.Е. и др. Глобальная деформация левого желудочка в продольном направлении после стентирования коронарных артерий у пациентов со стабильной ишемической болезнью сердца. *Рос. кардиол. ж.* 2016; (2): 37–42. [Pavlyukova E.N., Gladkikh N.N., Baev A. et al. Global longitudinal strain of the left ventricle after coronary stenting in stable ischemic heart disease. *Rossiyskiy kardiologicheskiy zhurnal*. 2016; (2): 37–42. (In Russ.)] DOI: 10.15829/1560-4071-2016-2-37-42.
- Roes S.D., Mollema S.A., Lamb H.J. et al. Validation of echocardiographic two-dimensional speckle tracking longitudinal strain imaging for viability assessment in patients with chronic ischemic left ventricular dysfunction and comparison with contrast-enhanced magnetic resonance imaging. *Am. J. Cardiol.* 2009; 104: 312–317. DOI: 10.1016/j.amjcard.2009.03.040.
- Tarascio M., Leo L.A., Klersy C. et al. Speckle-tracking layer-specific analysis of myocardial deformation and evaluation of scar transmural in chronic ischemic heart disease. *J. Am. Society Echocardiography*. 2017; 30: 667–675. DOI: 10.1016/j.echo.2017.03.015.
- Lima M.S.M., Villarraga H.R., Abduch M.C.D. et al. Global longitudinal strain or left ventricular twist and torsion? Which correlates best with ejection. *Arquivos Brasileiros de Cardiologia*. 2017; 109: 23–29. DOI: 10.5935/abc.20170085.
- Goedemans L., Abou R., Hoogslag G.E. et al. Comparison of left ventricular function and myocardial infarct size determined by 2-dimensional speckle tracking echocardiography in patients with and without chronic obstructive pulmonary disease after ST-segment elevation myocardial infarction. *Am. J. Cardiol.* 2017; 120: 734–739. DOI: 10.1016/j.amjcard.2017.06.006.
- Murtaza G., Virk H.U.H., Khalid M. et al. Role of speckle tracking echocardiography in dilated cardiomyopathy: A review. *Cureus*. 2017; 9: e1372. DOI: 10.7759/cureus.1372.
- Biering-Sørensen T., Biering-Sørensen S.R., Olsen F.J. et al. Global longitudinal strain by echocardiography predicts long-term risk of cardiovascular morbidity and mortality in a low-risk general population: The Copenhagen city heart study. *Circ. Cardiovasc. Imaging*. 2017; 10.pii: e005521. DOI: 10.1161/CIRCIMAGING.116.005521.
- Ersbøll M., Valeur N., Mogensen U.M. et al. Prediction of all-cause mortality and heart failure admissions from global left ventricular longitudinal strain in patients with acute myocardial infarction and preserved left ventricular ejection fraction. *J. Am. Coll. Cardiol.* 2013; 61: 2365–2373. DOI: 10.1016/j.jacc.2013.02.061.

19. Stanton T., Leano R., Marwick T.H. Prediction of all-cause mortality from global longitudinal speckle strain: comparison with ejection fraction and wall motion scoring. *Circulation: Cardiovasc. Imaging*. 2009; 2: 356–364. DOI: 10.1161/CIRCIMAGING.109.862334.
20. Haugaa K.H., Grenne B.L., Eek C.H. et al. Strain echocardiography improves risk prediction of ventricular arrhythmias after myocardial infarction. *JACC: Cardiovasc. Imaging*. 2013; 6: 841–850. DOI: 10.1016/j.jcmg.2013.03.005.
21. Yu Y., Villarraga H.R., Saleh H.K. et al. Can ischemia and dyssynchrony be detected during early stages of dobutamine stress echocardiography by 2-dimensional speckle tracking echocardiography? *Int. J. Cardiovasc. Imaging*. 2013; 29: 95–102. DOI: 10.1007/s10554-012-0074-9.
22. Haugaa K.H., Goebel B., Dahlslett T. et al. Risk assessment of ventricular arrhythmias in patients with non-ischemic dilated cardiomyopathy by strain echocardiography. *J. Am. Society Echocardiography*. 2012; 25: 667–673. DOI: 10.1016/j.echo.2012.02.004.
23. Haland T.F., Hasselberg N.E., Almaas V.M. et al. The systolic paradox in hypertrophic cardiomyopathy. *Open Heart*. 2017; 4: e000571. DOI: 10.1136/openhrt-2016-000571.
24. Popović Z.B., Kwon D.H., Mishra M. et al. Association between regional ventricular function and myocardial fibrosis in hypertrophic cardiomyopathy assessed by speckle tracking echocardiography and delayed hyperenhancement magnetic resonance imaging. *J. Am. Society Echocardiography*. 2008; 21: 1299–1305. DOI: 10.1016/j.echo.2008.09.011.
25. Almaas V.M., Haugaa K.H., Strøm E.H. et al. Increased amount of interstitial fibrosis predicts ventricular arrhythmias, and is associated with reduced myocardial septal function in patients with obstructive hypertrophic cardiomyopathy. *Europace*. 2013; 15: 1319–1327. DOI: 10.1093/europace/eut028.
26. Urbano-Moral J.A., Rowin E.J., Maron M.S. et al. Investigation of global and regional myocardial mechanics with 3-dimensional speckle tracking echocardiography and relations to hypertrophy and fibrosis in hypertrophic cardiomyopathy. *Circ. Cardiovasc. Imaging*. 2014; 7: 11–19. DOI: 10.1161/CIRCIMAGING.113.000842.
27. Saccheri M.C., Cianciulli T.F., Morita L.A. et al. Speckle tracking echocardiography to assess regional ventricular function in patients with apical hypertrophic cardiomyopathy. *World J. Cardiol*. 2017; 9: 363–370. DOI: 10.4330/wjc.v9.i4.363.
28. Комиссарова С.М., Захарова Е.Ю., Севрук Т.В. и др. Прогностическое значение глобальной продольной деформации у пациентов с гипертрофической кардиомиопатией. *Рос. кардиол. ж.* 2018; (2): 7–12. [Komissarova S.M., Zakharova E.Yu., Sevruck T.V. et al. Predictive value of the global longitudinal strain in hypertrophic cardiomyopathy patients. *Rossiyskiy kardiologicheskiy zhurnal*. 2018; (2): 7–12. (In Russ.)] DOI: 10.15829/1560-4071-2018-2-7-12.
29. Kearney L.G., Lu K., Ord M. et al. Global longitudinal strain is a strong independent predictor of all-cause mortality in patients with aortic stenosis. *Eur. Heart J. Cardiovasc. Imaging*. 2012; 13: 827–833. DOI: 10.1093/ehjci/jes115.
30. Soufi Taleb Bendiab N., Meziane-Tani A., Ouabdes-selam S. et al. Factors associated with global longitudinal strain decline in hypertensive patients with normal left ventricular ejection fraction. *Eur. J. Preventive Cardiol*. 2017; 24: 1463–1472. DOI: 10.1177/2047487317721644.
31. Welch T.D., Ling L.H., Espinosa R.E. et al. Echocardiographic diagnosis of constrictive pericarditis: Mayo Clinic criteria. *Circ. Cardiovasc. Imaging*. 2014; 7: 526–534. DOI: 10.1161/CIRCIMAGING.113.001613.
32. Kusunose K., Dahiya A., Popović Z.B. et al. Biventricular mechanics in constrictive pericarditis comparison with restrictive cardiomyopathy and impact of pericardiectomy. *Circulation: Cardiovasc. Imaging*. 2013; 6: 399–406. DOI: 10.1161/CIRCIMAGING.112.000078.
33. Phelan D., Collier P., Thavendiranathan P. et al. Relative apical sparing of longitudinal strain using two-dimensional speckle-tracking echocardiography is both sensitive and specific for the diagnosis of cardiac amyloidosis. *Heart*. 2012; 98: 1442–1448. DOI: 10.1136/heartjnl-2012-302353.
34. Caspar T., Fichot M., Ohana M. et al. Late detection of left ventricular dysfunction using two-dimensional and three-dimensional speckle-tracking echocardiography in patients with history of nonsevere acute myocarditis. *J. Am. Society Echocardiography*. 2017; 30: 756–762. DOI: 10.1016/j.echo.2017.04.002.
35. Kasner M., Aleksandrov A., Escher F. et al. Multimodality imaging approach in the diagnosis of chronic myocarditis with preserved left ventricular ejection fraction (MCpEF): The role of 2D speckle-tracking echocardiography. *Intern. J. Cardiol*. 2017; 243: 374–378. DOI: 10.1016/j.ijcard.2017.05.038.
36. Varghese M.J., Sharma G., Shukla G. et al. Longitudinal ventricular systolic dysfunction in patients with very severe obstructive sleep apnea: A case control study using speckle tracking imaging. *Indian Heart J*. 2017; 69: 305–310. DOI: 10.1016/j.ihj.2016.12.011.
37. Kucuk M., Oncel C.R., Belgi Yıldırım A. et al. Evaluation of subclinical left ventricular systolic dysfunction in chronic asymptomatic alcoholics by speckle tracking echocardiography. *BioMed Res. Intern*. 2017; 2017: 6582568. DOI: 10.1155/2017/6582568.
38. Benacka O., Benacka J., Blazicek P. et al. Speckle tracking can detect subclinical myocardial dysfunction in rheumatoid arthritis patients. *Bratislava Med. J*. 2017; 118: 28–33. DOI: 10.4149/BLL_2017_006.
39. Moaref A., Faraji M., Tahamtan M. Subclinical left ventricular systolic dysfunction in patients with metabolic syndrome: A case-control study using two-dimensional speckle tracking echocardiography. *ARYA Atherosclerosis*. 2016; 12: 254–258. PMID: 28607564.
40. Акрамова Э.Г. Спекл-трекинг эхокардиография при артериальной гипертензии. *Практич. мед.* 2018; (1): 69–73. [Akramova E.G. Speckle tracking echocardiography in arterial hypertension. *Prakticheskaya meditsina*. 2018; (1): 69–73. (In Russ.)]
41. Cameli M., Mondillo S., Righini F.M. et al. Left ventricular deformation and myocardial fibrosis in patients with advanced heart failure requiring transplantation. *J. Cardiac. Failure*. 2016; 22: 901–907. DOI: 10.1016/j.cardfail.2016.02.012.
42. Spethmann S., Rieper K., Riemekasten G. et al. Echocardiographic follow-up of patients with systemic sclerosis by 2D speckle tracking echocardiography of the left ventricle. *Cardiovasc. Ultrasound*. 2014; 12: 13. DOI: 10.1186/1476-7120-12-13.
43. Deswal A., Follansbee W.P. Cardiac involvement in scleroderma. *Rheum. Dis. Clin. North Am*. 1996; 22: 841–860. DOI: 10.1016/S0889-857X(05)70304-5.
44. Cioffi G., Viapiana O., Ognibeni F. et al. Prognostic role of subclinical left ventricular systolic dysfunction evaluated by speckle-tracking echocardiography in rheumatoid arthritis. *J. Am. Society Echocardiography*. 2017; 30: 602–611. DOI: 10.1016/j.echo.2017.02.001.
45. Klæboe L.G., Haland T.F., Leren I.S. et al.

Prognostic value of left ventricular deformation parameters in patients with severe aortic stenosis: A pilot study of the usefulness of strain echocardiography. *J. Am. Society Echocardiography*. 2017; 30: 727–735. DOI: 10.1016/j.echo.2017.04.009.

46. Thavendiranathan P., Grant A.D., Negishi T. et al. Reproducibility of echocardiographic techniques for sequential assessment of left ventricular ejection fraction and volumes: application to patients undergoing cancer che-

motherapy. *J. Am. Coll. Cardiol.* 2013; 61: 77–84. DOI: 10.1016/j.jacc.2012.09.035.

47. Plana J.C., Galderisi M., Barac A. et al. Expert consensus for multimodality imaging evaluation of adult patients during and after cancer therapy: a report from the American Society of Echocardiography and the European Association of Cardiovascular Imaging. *J. Am. Society Echocardiography*. 2014; 27: 911–939. DOI: 10.1093/ehjci/jeu192.