

<https://doi.org/10.24835/1607-0771-2021-2-19-38>

Спекл-трекинг эхокардиография в оценке систоло-диастолической функции левого желудочка при ишемической болезни сердца с учетом особенностей строения миокарда

Д.А. Швец¹, С.В. Поветкин²

¹ БУЗ Орловской области “Орловская областная клиническая больница”, г. Орел

² ФГБОУ ВО “Курский государственный медицинский университет”
Министерства здравоохранения Российской Федерации, г. Курск

В обзоре представлены диагностические возможности спекл-трекинг эхокардиографии (*speckle tracking echocardiography*) для оценки систоло-диастолической функции левого желудочка при ишемической болезни сердца с учетом особенностей строения миокарда. Спиральное строение миокарда и взаимодействие разнонаправленных волокон левого желудочка усложняют задачу оценки регионарной и глобальной сократимости левого желудочка. Спекл-трекинг эхокардиография позволяет измерить деформацию миокарда в продольном, циркулярном и радиальном направлениях. Обсуждается клиническое использование метода при наиболее опасных формах ишемической болезни сердца: остром инфаркте миокарда и нестабильной стенокардии. Спекл-трекинг эхокардиография позволяет выявлять компенсаторное увеличение деформации интактного миокарда, а также ротации левого желудочка при

нарушениях локальной сократимости. Измерение глобальных значений деформации, скручивания и раскручивания левого желудочка представляет прогностическую информацию у больных с острым инфарктом миокарда и нестабильной стенокардией. Несмотря на преимущества, существуют препятствия, затрудняющие использование данного метода в клинической практике. Основные из них – качество ультразвукового изображения и отсутствие общепринятых нормативных значений величин деформации.

Ключевые слова: спекл-трекинг эхокардиография, продольная деформация, циркулярная деформация, радиальная деформация, левый желудочек, ишемическая болезнь сердца.

Цитирование: Швец Д.А., Поветкин С.В. Спекл-трекинг эхокардиография в оценке систоло-диастолической функции

Д.А. Швец – к.м.н., врач-кардиолог отделения кардиологического №1 с палатой реанимации и интенсивной терапии БУЗ Орловской области “Орловская областная клиническая больница”, г. Орел. <https://orcid.org/0000-0002-1551-9767>

С.В. Поветкин – д.м.н., профессор, заведующий кафедрой клинической фармакологии ФГБОУ ВО “Курский государственный медицинский университет” Министерства здравоохранения Российской Федерации, г. Курск. <https://orcid.org/0000-0002-1302-9326>

Контактная информация: 302028 г. Орел, Бульвар Победы, д. 10, Орловская областная клиническая больница, отделение кардиологическое №1 с ПРИТ. Швец Денис Анатольевич. Тел.: +7 (920) 084-72-24. E-mail: denpost-card@mail.ru

левого желудочка при ишемической болезни сердца с учетом особенностей строения миокарда. Ультразвуковая и функциональная диагностика. 2021; 2: 19–38. <https://doi.org/10.24835/1607-0771-2021-2-19-38>

Традиционная эхокардиография ограничена субъективной интерпретацией изображения и зависимостью от индивидуальных экспертных знаний. Спекл-трекинг эхокардиография (метод отслеживания пятен серой шкалы ультразвукового изображения) (*speckle tracking echocardiography (STE)*) – более воспроизводимый и объективный метод количественной оценки ранних нарушений глобальной и регионарной систолической и диастолической функции [1], который все больше входит в привычную клиническую практику в связи с улучшением алгоритмов визуализации, внедрением референтных значений параметров деформации и сопоставимостью с таким методом оценки деформации, как магнитно-резонансная томография (МРТ). К преимуществам метода относятся: меньшая зависимость от угла сканирования, измерение деформации в продольном, циркулярном и радиальном направлениях, возможность оценки скручивания (*twist*) и раскручивания (*untwist*) миокарда [2–15]. Применение *STE* требует понимания принципов формирования ультразвукового изображения и учета анатомо-функциональной модели миокарда. Несмотря на многовековую историю изучения сердца, моделировать функцию миокарда непросто. Сложная и переменная геометрия расположения волокон миокарда, влияние множества гемодинамических и нейрогормональных факторов усложняют задачу. Среди исследователей до настоящего времени нет единого мнения в отношении анатомо-функциональных взаимоотношений сердца *in vivo* [16].

Анатомо-функциональная характеристика сердца

Существуют два основных типа моделей миокарда, которые связывают анатомию сердечной мышцы с его функцией: микроскопические и макроскопические [17]. Для характеристики механики миокарда с позиции *STE* больший интерес представляют

макроскопические модели: дискретная (полоса) [18] и диффузная (вложенный слой) [17]. Спиральная конфигурация полосы миокарда включает базальный и верхушечный циклы, для каждого из которых характерно самостоятельное направление движения. Базальный цикл циркулярных волокон, окружающий оба желудочка, приводит к уменьшению объема и ротации сердца. Верхушечный цикл представлен мышечной спиралью волокон нисходящего и восходящего сегментов полосы миокарда, которые расположены в окружающем их циркулярном обруче. Таким образом, полоса миокарда двумя разнонаправленными спиралями производит основные движения сердца: сужение, расширение, укорочение, удлинение, скручивание и раскручивание [18–21]. Некоторые авторы находят недостатки в теории полосы миокарда. Они считают ошибочным не учитывать наличие циркулярных волокон между двумя наборами спиральных волокон в межжелудочковой перегородке и взаимосвязи между ними. Кроме того, позднее сокращение отдельных сегментов полосы необязательно является доказательством последовательного возбуждения волокон, а может быть результатом аутокотонического сокращения миокарда. Модель вложенного слоя представляет стенку левого желудочка (ЛЖ) состоящей из концентрических слоев мышц, каждый из которых имеет свой спиральный угол. Вложенные слои являются эллипсоидами вращения, которые соединены между собой поперечными компонентами. Таким образом, ЛЖ рассматривается в качестве трехмерного континуума, в котором большой акцент уделяется соединительным волокнам [17, 22]. В настоящее время установлено, что слои волокон образуют две спирали противоположного направления, которые электрически и механически связаны между собой. Поэтому трехмерная деформация ЛЖ представляет собой взаимодействие разнонаправленных волокон [12].

Данные математического моделирования функции ЛЖ показали, что спиральная ориентация волокон является наиболее эффективной для обеспечения достаточной фракции выброса (ФВ) [18]. Спиральное строение миокарда снижает напряжение стенки ЛЖ во время сокращения, способствует систолическому скручиванию ЛЖ во

время выброса, производя разнонаправленную ротацию основания и верхушки. Помимо своей роли в скручивании желудочка во время сокращения спиральные пучки укрепляют стенку, выравнивают трансмуральное напряжение и экономят длину волокна для оптимизации объема выброса при сокращении [5, 6, 12, 17, 19, 23, 24].

Сократимость сердечной мышцы определяется скоростью укорочения волокон и величиной нагрузки на миокард. Поэтому измерение деформации миокарда без учета условий пред-, постнагрузки и геометрии ЛЖ может представлять определенную погрешность. Исследования [12] подтвердили, что увеличение преднагрузки способствует увеличению деформации миокарда при неизменной сократимости ЛЖ. В то же время увеличение постнагрузки и частоты сердечных сокращений уменьшает величину деформации. Таким образом, снижение величины деформации необязательно является синонимом дисфункции миокарда, а нормальные значения не исключают патологии [12, 17]. Компьютерные модели сердец в норме и при патологии показали, что деформация миокарда более чувствительна к величине преднагрузки, чем ФВ. Перегрузка объемом приводит к расширению ЛЖ и снижению значений продольной деформации (*longitudinal strain*) еще до снижения ФВ [12]. Кроме того, величина скручивания по-разному зависит от объемов ЛЖ: повышенный конечный диастолический объем ЛЖ увеличивает, а повышенный конечный систолический объем ЛЖ уменьшает скручивание [23, 25].

В пресистолической фазе волна возбуждения сначала достигает субэндокардиального слоя. Раннее укорочение субэндокардиальных волокон приводит к удлинению неактивных субэпикардиальных волокон, что способствует начальному пресистолическому изменению формы желудочков. Это раннее систолическое растяжение субэпикардиальных волокон выполняет важную функцию, поскольку оно приводит к растяжению молекул титина в миоцитах, тем самым регулируя силу и длительность сокращения миоцитов в соответствии с величиной растяжения. Кроме того, предварительная ротация верхушки по часовой стрелке усиливает мощность последующей систолической ротации против часовой стрелки.

Дальнейшая стимуляция и сокращение субэпикардиальных волокон, имеющих больший радиус, создает преобладающий вращательный момент и приводит к сужению, удлинению желудочка и ротации основания по часовой стрелке, а верхушки – против. Вторичное удлинение субэпикардиальных волокон обусловлено удлиняющимся желудочком и вращением по часовой стрелке, производимым субэндокардиальной спиралью [5, 6, 17, 19, 23, 24]. Учитывая расположение волокон, субэндокардиальный слой в первую очередь отвечает за продольную составляющую движения ЛЖ, тогда как миокардиальный и субэпикардиальный слои – за циркулярную и радиальную составляющие. Сокращение и вращение чаще взаимосвязаны, но при определенных условиях (в случае, если укорочению волокон противостоит сила, направленная в противоположном направлении) возможно вращение без укорочения мышц [17].

Период ранней релаксации миокарда является наиболее энергозатратной фазой сердечного цикла. Согласно модели полосы миокарда, начальная диастолическая фаза, следующая за выбросом, – это не результат пассивной изоволюмической релаксации, а следствие активного мышечного сокращения восходящего сегмента полосы верхушечной петли. В данной фазе более позднее сокращение эпикарда базальных сегментов миокарда и межжелудочковой перегородки способствует раскручиванию и продольному удлинению желудочков [19, 24]. В раннюю диастолу происходит удлинение субэпикардиальных волокон в базальном сегменте миокарда, что связано с продолжающимся (систолическим) движением циркулярных волокон базального цикла по часовой стрелке. Это удлинение впоследствии увеличивает силу диастолического раскручивания. Субэпикардиальные волокна верхушки начинают сокращаться, что способствует раскручиванию и ротации верхушки по часовой стрелке. Так же, как и во время скручивания, при раскручивании главным источником движения отдачи является верхушка. В отличие от систолической фазы, когда скручивание и укорочение происходят одновременно, раскручивание во время диастолы предшествует удлинению и расширению желудочков [5–7, 17, 19, 24]. После прекращения доминирующего со-

кращения нисходящего сегмента полосы желудочек удлиняется за счет выпрямления сократившегося наружного восходящего сегмента полосы. Механизм удлинения ЛЖ при сокращении восходящего сегмента полосы можно объяснить особенностью криволинейного сокращения субэпикардиальных миоцитов вокруг спирали нисходящего сегмента полосы миокарда. При этом уменьшенный конечный систолический объем является сильным предиктором увеличения скорости раскручивания и диастолического всасывания [17, 20, 23, 25–27]. Некоторые авторы [19] считают, что упругая отдача восходящего сегмента полосы в конце систолы и первой трети диастолы вызывает взрывное наполнение желудочков, которое следует за его возвращением в исходное положение. Остальная часть отдачи происходит при быстром заполнении за счет разматывания наружного восходящего сегмента полосы. Увеличение временного промежутка между окончанием сокращения нисходящего сегмента полосы и началом сокращения восходящего сегмента полосы (свыше 90 мс) используется теорией полосы в качестве объяснения одного из механизмов диастолической дисфункции [19]. Некоторые авторы [5, 6] связывают накопление потенциальной энергии, используемой в период диастолической отдачи, с систолическим скручиванием, укорочением мышечных волокон и деформацией внеклеточного матрикса. Противники теории полосы миокарда считают, что ЛЖ расширяется за счет расслабления циркулярной мышцы и отскока сжатых титиновых пружин [17].

Важное значение имеет постсистолическое укорочение (*postsystolic shortening*), определяемое как позднее систолическое укорочение, возникающее после закрытия аортального клапана. Развивается постсистолическое укорочение вследствие первоначального удлинения волокон в субэпикардиальном слое и укорочения субэндокардиальных волокон. Другим механизмом, приводящим к постсистолическому укорочению, является пассивная отдача, возникающая вследствие неоднородности сократимости сегментов миокарда или замедления внутрижелудочкового проведения. Установлено, что постсистолическое укорочение до 20% присутствует примерно в одной трети

всех сегментов миокарда у здоровых лиц. Считается, что замедленное систолическое сокращение возникает из-за дисфункциональных волокон миокарда. При этом количество сегментов с постсистолическим укорочением коррелирует с наличием и выраженностью нарушений локальной сократимости миокарда [5, 6, 20, 28–30].

Клиническое применение параметров механики ЛЖ

В настоящее время измерение регионарной деформации в клинических условиях следует использовать с осторожностью. Это связывается с межоператорской воспроизводимостью показателей и несовершенством технологии *STE* текущего поколения [11, 31–34]. Параметры регионарной деформации чаще всего используются для выявления сегментов миокарда, подверженных ишемии [35–38]. Глобальная продольная деформация (*global longitudinal strain*) и глобальная циркулярная деформация (*global circumferential strain*) превосходят регионарную деформацию в качестве критерия диагностики ишемии миокарда, лучше воспроизводимы и чаще используются для выявления латентной систолической дисфункции и определения групп риска больших сердечно-сосудистых событий (*major cardiovascular events, MACE*). При систолической дисфункции снижение глобальной продольной деформации предшествует снижению ФВ [12, 16, 39–41]. Некоторые исследователи [42] считают, что регионарная продольная деформация имеет более важное прогностическое значение в сравнении с глобальной деформацией. При снижении продольной деформации сегментов миокарда передне-септальной и нижней стенок ЛЖ частота *MACE* оказалась наибольшей. Усреднение значений продольной деформации всех сегментов миокарда при оценке глобальной продольной деформации может ослабить эффективность использования регионарной продольной деформации в качестве прогностического критерия *MACE* после крупноочагового острого инфаркта миокарда (ОИМ) [42, 43]. Есть точка зрения, что *STE* может быть полезна для оценки ишемического повреждения миокарда как с глобальными, так и с регионарными количественными показателями [44].

Глобальная деформация является средней величиной значений региональных деформаций. Вследствие этого снижение деформации одних сегментов миокарда и компенсаторное увеличение деформации других сегментов могут существенно не изменить величину глобальной деформации. Одной из причин сохранения выброса у пациентов после ОИМ является гиперкинез интактных сегментов миокарда, которые компенсируют снижение сократимости стенки в зоне инфаркта и поддерживают ФВ в пределах нормы [45]. Вовлечение субэпикардиальных волокон приводит к нарушению циркулярного сокращения и скручивания ЛЖ [46]. Однако величина выброса ЛЖ может остаться неизменной из-за сохранения деформации субэндокардиального миокарда [24, 25]. И наоборот, сохранение или увеличение величины циркулярной деформации (*circumferential strain*) и скручивания ЛЖ при снижении величины продольной деформации и радиальной деформации (*radial strain*) обеспечивает компенсацию сердечного выброса. Уменьшение глобальной продольной деформации может быть компенсировано небольшим увеличением глобальной циркулярной деформации, поскольку последняя вносит в сердечный выброс вдвое больший вклад, чем глобальная продольная деформация [5, 6, 12, 24, 40, 47–50]. Увеличение ротации и скручивания при нормальной ФВ ЛЖ может быть компенсаторным механизмом снижения наполнения желудочков при ранней диастолической дисфункции [5, 6, 23].

Различимые слои волокон в стенке ЛЖ позволяют проводить измерение деформации каждого слоя. Однако клиническая полезность послойного анализа продольной деформации признается не всеми [12]. Считается, что измерение продольной деформации при вовлечении в зону интереса всей стенки ЛЖ наиболее достоверно, учитывая регионарные изменения толщины стенки. Кроме того, регионарная деформация может различаться между апикальным, средним и базальным сегментами миокарда, что отражает различные базовые алгоритмы в соответствующих программных пакетах [10, 12, 51]. Некоторые авторы считают целесообразным оценку многослойной деформации. Трехслойный *STE*-анализ продольной деформации и циркулярной де-

формации может оказаться важным методом оценки количественной глобальной и регионарной функции ЛЖ в реальном времени [52–54]. Установлена градиентная зависимость величины продольной деформации и циркулярной деформации от эндокарда к эпикарду. Вклад в общее утолщение стенок субэндокардиального, срединного и субэпикардиального слоев миокарда составил 58, 25 и 17% соответственно [55]. Причины существующей градиентной особенности при исследовании продольной деформации и циркулярной деформации в различных слоях миокарда зависят от расположения и различного напряжения волокон. Превышение сократимости субэндокардиального слоя миокарда над субэпикардиальным слоем является следствием большего растяжения волокон субэндокардиального слоя в конце диастолы и различий в коронарной перфузии. Установлено [43], что локальное напряжение стенки нарастает с увеличением радиуса кривизны. Вследствие меньшего радиуса кривизны циркулярных волокон миокарда по сравнению с продольными напряжение циркулярных волокон в систолу ниже. В том числе поэтому циркулярная деформация в меньшей степени снижается при ишемии миокарда по сравнению с продольной деформацией. Выявлено [5, 6], что в систолу величина циркулярной деформации выше, чем продольной деформации. Различие между эндокардом и эпикардом для циркулярной деформации в 1,9 раза выше, чем для продольной деформации. При этом, в отличие от продольной деформации, для циркулярной деформации всех сегментов миокарда (от базального до верхушечного) градиент оставался одинаковым (в силу одинаковой кривизны стенок в короткоосевых сечениях) [5, 6, 16]. Существует базально-апикальный градиент продольной деформации в субэндокардиальном и среднем слоях миокарда, причем продольная деформация была самой высокой в верхушке и самой низкой в основании ЛЖ. Причина заключается в том, что в верхушке ЛЖ радиусы кривизны одинаковы во всех направлениях, а в базальных сегментах миокарда они существенно меньше в радиальном по сравнению с продольным направлением [5, 6, 16, 38, 52, 56, 57].

Значения деформации у женщин выше, чем у мужчин. Исключениями являются циркулярная деформация и глобальная циркулярная деформация, для которых гендерных различий не выявлено. Возможными причинами являются меньшие площадь поверхности тела, размер и масса ЛЖ у женщин по сравнению с мужчинами. Низкая масса ЛЖ предполагает меньшее количество пятен для отслеживания, поэтому *STE* у женщин – менее точный метод оценки сердечной функции [7, 16, 21, 32, 52, 56]. Молодые люди имеют более высокие величины продольной деформации в сравнении с пожилыми, что должно учитываться при интерпретации значений деформации. После 50 лет значения глобальной продольной деформации были значительно меньше в базальных и средних сегментах миокарда по сравнению с верхушкой ЛЖ. Меньшая возрастная зависимость апикальной субэндокардиальной продольной деформации может быть обусловлена как компенсаторными механизмами, так и кривизной поверхности. Следствием снижения продольной деформации с возрастом является компенсаторное увеличение параметров ротации и скручивания, особенно в верхушке [7, 16, 21, 23, 35, 51]. В некоторых исследованиях не было выявлено корреляции между возрастом и деформацией миокарда. Масса тела также не являлась определяющим фактором для определения нормального диапазона продольной деформации [21].

Единых согласованных нормативов деформации ЛЖ нет. За нижний предел глобальной продольной деформации ЛЖ при работе на разных ультразвуковых системах принимают величины от –11 до –18% (далее используется модуль значения). Значение 20% можно ожидать у здорового человека. Диапазон глобальной циркулярной деформации ЛЖ составляет от 20 до 28%, глобальной радиальной деформации (*global radial strain*) – от 36 до 59%. Для глобальной продольной деформации правого желудочка: нижний предел – 15%, среднее значение нормы – 25% [2, 9, 12, 41, 45, 58–60].

По величинам глобальных продольной, циркулярной и радиальной деформаций можно количественно определить функцию кардиомиоцитов при различной патологии миокарда [44]. К снижению всех видов де-

формации миокарда могут привести как острые, так и хронические формы ишемической болезни сердца (ИБС) [13]. Так как субэндокардиальные волокна подвержены риску ишемии в большей степени, продольная деформация снижается раньше циркулярной. Скручивание ЛЖ дольше остается в норме, учитывая сохраненные эпикардальную функцию и ФВ ЛЖ. Радиальная деформация значительно уменьшается только при трансмуральном повреждении ЛЖ [13, 17, 35, 38, 49, 50, 55–58, 61–66]. Снижение глобальной циркулярной деформации и скручивания ЛЖ при крупноочаговом ОИМ является предиктором более выраженной сердечной дисфункции и ремоделирования ЛЖ по сравнению со снижением глобальной продольной деформации [49, 56, 67]. Снижение глобальной продольной деформации ЛЖ более специфично для диагностики острых и хронических форм ИБС. Значения глобальной продольной деформации ЛЖ в покое связаны с гемодинамически значимым стенозирующим коронарным атеросклерозом [68]. Кроме того, выявлена связь между сниженными значениями глобальной деформации, уровнем индикаторных ферментов и степенью некроза у больных ОИМ [5, 6, 35, 36, 38, 65, 69–75]. Некоторые авторы [26, 48] считают, что глобальная продольная деформация в состоянии покоя не является достаточно чувствительной для выявления сегментарных нарушений при ОИМ. У пациентов с ИБС в ишемизированных сегментах миокарда продольная деформация снижается менее 14%, а при наличии постинфарктного кардиосклероза – менее 10% [2, 34, 58]. По величине глобальной продольной деформации, продольной деформации и циркулярной деформации можно дифференцировать крупноочаговые и мелкоочаговые поражения миокарда. В этом отношении данные *STE* коррелируют с результатами МРТ [5, 6, 45, 63]. По другим данным [76], циркулярная деформация и продольная деформация позволяют различать сократимость интактного миокарда и сегментов с крупноочаговым рубцовым поражением.

При ишемии задержка сокращения нисходящего сегмента полосы может задерживать скручивание, замедлить начало отдачи и стать предвестником диастолической дисфункции. Поэтому диастолическая дис-

функция тесно связана с нарушением сократимости сегментов ЛЖ. Оценка скорости ранней диастолической деформации может иметь дополнительную прогностическую ценность [19, 77, 78]. Сокращение восходящего сегмента полосы подготавливает миокард к активному всасыванию крови. В “ишемическом каскаде” диастолическая дисфункция, как правило, предшествует систолической. Поэтому более ранние нарушения сократимости восходящего сегмента полосы могут выступать в качестве показателя ранней дисфункции миокарда. Острая ишемия приводит к постсистолическому укорочению, которое является признаком замедленного сокращения и расслабления миокарда. При хронической ишемии постсистолическое укорочение может быть признаком пассивной отдачи, вызванной взаимодействием между гипокинетичными сегментами миокарда и здоровой тканью [12, 30]. Небольшие значения постсистолического укорочения с увеличением времени до максимального пика сокращения могут указывать на раннюю диастолическую асинхронность и характеризуют сократимость жизнеспособных волокон миокарда. Большие значения постсистолического укорочения могут указывать на нарушение регионарной сократимости или дисинхронию более крупных сегментов миокарда и связаны с повышенным риском *MACE* [5, 6, 30]. Постсистолическое укорочение является чувствительным, но неспецифичным признаком регионарной дисфункции при острой или хронической ишемии ЛЖ, а также часто наблюдается при постинфарктном кардиосклерозе [12, 20, 30, 31]. По некоторым данным [78], постсистолическое укорочение не является прогностическим маркером при ИБС и не может использоваться в качестве диагностического критерия ишемии миокарда ЛЖ. Наличие постсистолического укорочения не связано с повышенным риском смерти или ОИМ. Постсистолическое укорочение предсказывает только риск сердечной недостаточности после ОИМ и ни одно из других сердечно-сосудистых событий [29, 35, 78].

Деформация миокарда при ОИМ и нестабильной стенокардии

Одним из наиболее сильных предикторов выживаемости у больных ИБС после

ОИМ и нестабильной стенокардии является функция ЛЖ, оцениваемая с помощью эхокардиографии перед выпиской из стационара. В настоящее время при оценке систолической функции рекомендуется использовать только ФВ ЛЖ, несмотря на то что ФВ может быть в норме (сердечная недостаточность с сохраненной ФВ ЛЖ), а величина деформации чувствительна при ранней ишемической дисфункции миокарда. При ИБС изменению подвержены все 3 вида деформации, но продольная деформация является лучшим параметром для прогноза заболевания по сравнению с ФВ [5, 6, 12, 24, 45, 49, 81–84]. Уменьшение регионарной продольной деформации в передне-септальной и нижней стенках миокарда является маркером неблагоприятного прогноза независимо от наличия очага поражения. Причина заключается в большом радиусе искривления и повышенном напряжении стенки ЛЖ [43]. Акинезия нижней стенки ЛЖ является независимым предиктором аритмических событий и смерти от всех причин [85]. Возможная причина в преобладании восходящего сегмента полосы не только в перегородке, но и в эндокарде нижне-задней стенки ЛЖ, где спиральное перекрытие волокон отсутствует. Восходящий сегмент верхушечного цикла полосы раньше нисходящего вовлекается в патологический процесс при ишемии ЛЖ [19, 20, 27].

Величины глобальной продольной деформации, постсистолического укорочения, апикальной ротации и скручивания ЛЖ у больных ИБС после ОИМ и нестабильной стенокардии (с подъемом и без подъема сегмента ST на ЭКГ) имеют прогностическое значение при постинфарктном ремоделировании ЛЖ (застойная сердечная недостаточность и смерть) [5, 6, 25, 29, 35, 38, 48, 50, 56, 66, 79, 80, 86, 87]. Глобальная продольная деформация – сильный предиктор клинического исхода у пациентов после ОИМ с сохраненной ФВ ЛЖ. Глобальная продольная деформация менее 12% является значимым независимым предиктором возникновения *MACE*. Причем связь между глобальной продольной деформацией и сердечно-сосудистыми событиями была выше у мужчин и нормотензивных пациентов. Прогностическое значение глобальной продольной деформации связывают с нали-

чием интерстициальных фиброзных изменений миокарда [45, 58, 84, 88–91]. Суб-эпикардальная глобальная продольная деформация и глобальная продольная деформация всех слоев миокарда – независимые эхокардиографические предикторы кардиоваскулярной смертности после ОИМ и нестабильной стенокардии, что определяет целесообразность включения их в схему стратификации риска у этих пациентов [82].

Кроме того, патологическое значение глобальной продольной деформации ассоциируется с увеличением риска смерти от любых причин [49]. Величина глобальной циркулярной деформации коррелирует с изменением конечного систолического объема ЛЖ через три месяца после ОИМ. Наблюдаемое снижение величины глобальной циркулярной деформации в первые несколько дней после ОИМ связано с увеличением риска *MACE* [47]. У пациентов со сниженной ФВ ЛЖ снижение глобальной циркулярной деформации отражает более выраженную систолическую дисфункцию миокарда и, таким образом, тесно связано с плохим прогнозом [56, 92]. При ОИМ и хронической сердечной недостаточности прогностическое значение глобальной продольной деформации превосходит глобальную циркулярную деформацию. Можно предположить, что глобальная продольная деформация будет лучшим предиктором, чем глобальная циркулярная деформация, в группе более низкого риска, благодаря своей способности выявлять дисфункцию миокарда на более ранней стадии [86, 93–95]. Причина в том, что снижение глобальной циркулярной деформации отражает более выраженную дисфункцию миокарда, поэтому величина глобальной циркулярной деформации более тесно связана с жизне-способностью и сердечными событиями [53]. Тем не менее риск смерти наиболее высок при одновременном снижении продольной деформации и циркулярной деформации [49]. Необходимо учесть, что у больных ИБС ремоделирование ЛЖ происходит по-разному, что повышает вероятность неодинаковой прогностической значимости параметров деформации [94].

По некоторым данным [53], продольная деформация и циркулярная деформация не обладают прогностической силой у пациентов с ОИМ вследствие отека, возможного

оглушения миокарда и наличия коморбидных состояний (артериальная гипертензия и сахарный диабет) [53]. При наличии явной систолической дисфункции (снижение ФВ ЛЖ) увеличивается ишемический риск, что снижает прогностическую ценность параметров деформации [44, 96].

Ограничения применения деформации миокарда

Недостатком *STE* является неспособность различать активную деформацию (вызванную активным сокращением или релаксацией) и пассивную деформацию (при растяжении ЛЖ) [6]. Интеграция нескольких аспектов кардиомеханики в одном тесте является преимуществом и недостатком *STE*. Ограничения при проведении *STE*: низкое качество изображения, низкое временное разрешение, трудность интерпретации начала кардиоцикла, сложность непрерывного отслеживания исследуемых структур, высокая или слишком низкая частота кадров, высокая частота сердечных сокращений [5, 6, 9, 12, 24, 29, 35, 79, 84]. Эхокардиография в отличие от МРТ более операторзависима. Для получения значений количественной оценки деформации в настоящее время требуется подбор изображений, выходящий за рамки стандартного эхокардиографического протокола [14, 34, 84]. Алгоритмы, оценивающие изображение, используют предположения о нормальной функции желудочков и усредненную анатомическую модель, что может привести к ошибочной диагностике регионарной дисфункции. При автоматическом разделении ЛЖ на сегменты возможны несовпадения реальной анатомии и схемы деления.

Европейской ассоциацией кардиоваскулярной визуализации (*European Association of Cardiovascular Imaging*) и Американским обществом эхокардиографии (*American Society of Echocardiography*) предпринимаются попытки по стандартизации параметров деформаций [51, 79, 92]. Однако до настоящего времени остаются значительные различия диапазонов измерений деформации различных производителей оборудования, что затрудняет непосредственное сравнение результатов [5–7, 10, 26, 38, 51, 79, 81, 92, 97]. Есть мнение [9], что референтные диапазоны показателей деформации могут не зависеть от клинических

или технических данных. Основная проблема при измерении деформации при *STE* – качество изображения. Передняя и боковые стенки ЛЖ, особенно базальные сегменты миокарда, имеют самый высокий процент выбраковки из-за неудовлетворительной визуализации. Короткоосевые сечения на всех трех уровнях у многих больных недоступны для анализа. Оценка продольная деформация верхушки ЛЖ затруднена. Кроме того, измерение глобальной деформации может иметь погрешность, если из анализа было исключено слишком много сегментов миокарда из-за неудовлетворительного качества изображения. Это особенно важно в случае локального нарушения сократительной способности ЛЖ, когда сегменты миокарда со сниженной величиной деформации распределены неравномерно [1, 5, 6, 9, 10, 21, 24, 35, 38, 44, 57, 81, 82]. Показатели скорости деформации могут быть зарегистрированы менее чем в 25% случаев и недостаточно надежны [9, 12]. При сравнении воспроизводимости параметров деформации наилучший результат получен у глобальной продольной деформации. Усредненная абсолютная разность повторных измерений глобальной продольной деформации составляет 1–14% [7, 9, 10, 34]. При том что стандартные эхокардиографические параметры имеют сопоставимую с оценкой деформации межоператорскую вариабельность, определение ФВ ЛЖ доступно практически во всех случаях, даже при неудовлетворительной визуализации [7, 98].

Искусственный интеллект (ИИ) и машинное обучение могут повысить точность количественной оценки параметров *STE* [44, 99].

Заключение

Оценка функции миокарда с учетом особенностей его строения выявляет важные механизмы сократимости и расслабления сердечной мышцы. Показано, что измерение деформации миокарда с помощью *STE* оценивает вклад в сократимость и расслабление ЛЖ разнонаправленных мышечных волокон. Данная особенность метода позволила выявить неоднородность значений деформации различных сегментов и слоев миокарда ЛЖ. *STE* позволяет выявлять компенсаторное увеличение деформации

интактного миокарда, а также ротации ЛЖ при нарушениях локальной сократимости ЛЖ. Помимо оценки регионарной и глобальной деформации *STE* позволяет измерить величину скручивания и раскручивания ЛЖ, что выявляет больных ИБС с повышенным риском развития сердечно-сосудистых осложнений. Несмотря на преимущества, существуют препятствия, затрудняющие использование данного метода в клинической практике. Основные из них – качество ультразвукового изображения и отсутствие общепринятых нормативных значений величин деформации.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Hensel K.O., Wilke L., Heusch A. Transthoracic speckle tracking echocardiography for the quantitative assessment of left ventricular myocardial deformation. *J. Vis. Exp.* 2016; 116 e: 54736. <https://doi.org/10.3791/54736>
2. Lang R.M., Badano L.P., Mor-Avi V., Afilalo J., Armstrong A., Ernande L., Flachskampf F.A., Foster E., Goldstein S.A., Kuznetsova T., Lancellotti P., Muraru D., Picard M.H., Rietzschel E.R., Rudski L., Spencer K.T., Tsang W., Voigt J.U. 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. Soc. Echocardiogr.* 2015; 28 (1): 1–39.e14. <https://doi.org/10.1016/j.echo.2014.10.003>
3. Xie M.Y., Yin J.B., Lv Q., Wang J. Assessment of the left ventricular systolic function in multi-vessel coronary artery disease with normal wall motion by two-dimensional speckle tracking echocardiography. *Eur. Rev. Med. Pharmacol. Sci.* 2015; 19 (20): 3928–3934.
4. Liu J.H., Chen Y., Yuen M., Zhen Z., Chan C.W., Lam K.S., Tse H.F., Yiu K.H. Incremental prognostic value of global longitudinal strain in patients with type 2 diabetes mellitus. *Cardiovasc. Diabetol.* 2016; 15: 22. <https://doi.org/10.1186/s12933-016-0333-5>
5. Madry W., Karolczak M.A. Physiological basis in the assessment of myocardial mechanics using speckle-tracking echocardiography 2D. Part I. *J. Ultrason.* 2016; 16 (65): 135–144. <https://doi.org/10.15557/jou.2016.0015>
6. Madry W., Karolczak M.A. Physiological basis in the assessment of myocardial mechanics using speckle-tracking echocardiography 2D. Part II. *J. Ultrason.* 2016; 16 (66): 304–316. <https://doi.org/10.15557/jou.2016.0031>
7. Muraru D., Niero A., Rodriguez-Zanella H., Cherata D., Badano L. Three-dimensional speckle-tracking echocardiography: benefits and limitations of integrating myocardial mechanics with three-dimensional imaging. *Cardiovasc. Diagn.*

- Ther.* 2018; 8 (1): 101–117.
<https://doi.org/10.21037/cdt.2017.06.01>
8. Lang R.M., Addetia K., Narang A., Mor-Avi V. 3-Dimensional echocardiography: latest developments and future directions. *JACC Cardiovasc. Imaging*. 2018; 11 (12): 1854–1878.
<https://doi.org/10.1016/j.jcmg.2018.06.024>
 9. Levy P.T., Machevsky A., Sanchez A.A., Patel M.D., Rogal S., Fowler S., Yaeger L., Hardi A., Holland M.R., Hamvas A., Singh G.K. Reference ranges of left ventricular strain measures by two-dimensional speckle-tracking echocardiography in children: a systematic review and meta-analysis. *J. Am. Soc. Echocardiogr.* 2016; 29 (3): 209–225.e6.
<https://doi.org/10.1016/j.echo.2015.11.016>
 10. Mirea O., Pagourelas E.D., Duchenne J., Bogaert J., Thomas J.D., Badano L.P., Voigt J.U.; EACVI-ASE-Industry Standardization Task Force. Variability and reproducibility of segmental longitudinal strain measurement: a report from the EACVI-ASE Strain Standardization Task Force. *JACC Cardiovasc. Imaging*. 2018; 11 (1): 15–24.
<https://doi.org/10.1016/j.jcmg.2017.01.027>
 11. Mirea O., Corici O.M., Berceanu M., Donoiu I., Militaru C., Istratoaie O. Variability of longitudinal strain measurements: levelling the playing field. *Acta Cardiol.* 2019; 74 (3): 188–197. <https://doi.org/10.1080/00015385.2018.1480469>
 12. Voigt J.U., Cijic M. 2- and 3-Dimensional myocardial strain in cardiac health and disease. *JACC Cardiovasc. Imaging*. 2019; 12 (9): 1849–1863.
<https://doi.org/10.1016/j.jcmg.2019.01.044>
 13. Kihlberg J., Haraldsson H., Sigfridsson A., Ebbers T., Engvall J.E. Clinical experience of strain imaging using DENSE for detecting infarcted cardiac segments. *J. Cardiovasc. Magn. Reson.* 2015; 17 (1): 50. <https://doi.org/10.1186/s12968-015-0155-8>
 14. Kim J., Rodriguez-Diego S., Srinivasan A., Brown R.M., Pollie M.P., Di Franco A., Goldberg S.R., Siden J.Y., Ratcliffe M.B., Levine R.A., Devereux R.B., Weinsaft J.W. Echocardiography-quantified myocardial strain—a marker of global and regional infarct size that stratifies likelihood of left ventricular thrombus. *Echocardiography*. 2017; 34 (11): 1623–1632.
<https://doi.org/10.1111/echo.13668>
 15. Sutherland G.R., Hatle L., Rademakers F.E. *Doppler myocardial imaging*. Leuven University Press, 2003. 99 p.
 16. Nagata Y., Wu V.C., Otsuji Y., Takeuchi M. Normal range of myocardial layer-specific strain using two-dimensional speckle tracking echocardiography. *PLoS One*. 2017; 12 (6): e0180584.
<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0180584>
 17. Hoffman J.I.E. Will the real ventricular architecture please stand up? *Physiol. Rep.* 2017; 5 (18): e13404. <https://doi.org/10.14814/phy2.13404>
 18. Torrent-Guasp F., Kocica M.J., Corno A.F., Komeda M., Carreras-Costa F., Flotats A., Cosin-Aguillar J., Wen H. Towards new understanding of the heart structure and function. *Eur. J. Cardiothorac. Surg.* 2005; 27: 191–201.
<https://doi.org/10.1016/j.ejcts.2004.11.026>
 19. Buckberg G.D., Nanda N.C., Nguyen C., Kocica M.J. What is the heart? Anatomy, function, pathophysiology, and misconceptions. *J. Cardiovasc. Dev. Dis.* 2018; 5 (2): 33.
<https://doi.org/10.3390/jcdd5020033>
 20. Mora V., Roldan I., Romero E., Sauri A., Romero D., Perez-Gozalbo J., Ugalde N., Bertolin J., Rodriguez-Israel M., Delgado C.P., Lowenstein J.A. Myocardial contraction during the diastolic isovolumetric period: analysis of longitudinal strain by means of speckle tracking echocardiography. *J. Cardiovasc. Dev. Dis.* 2018; 5 (3): 41.
<https://doi.org/10.3390/jcdd5030041>
 21. Kocabay G., Muraru D., Peluso D., Cucchini U., Mihaila S., Padayattil-Jose S., Gentian D., Iliceto S., Vinereanu D., Badano L.P. Normal left ventricular mechanics by two-dimensional speckle-tracking echocardiography. Reference values in healthy adults. *Rev. Esp. Cardiol. (Engl. Ed.)*. 2014; 67 (8): 651–658.
<https://doi.org/10.1016/j.rec.2013.12.009>
 22. Anderson R.H., Lunkenheimer P.P., Jarvis J.J., Stephenson R., MacIver D.H., Agger P. Assessment of the helical ventricular myocardial band using standard echocardiography. *Echocardiography*. 2015; 32 (10): 1601–1602.
<https://doi.org/10.1111/echo.13031>
 23. Nakatani S. Left ventricle rotation and twist: why should we learn? *J. Cardiovasc. Ultrasound*. 2011; 19 (1): 1–6.
<https://doi.org/10.4250/jcu.2011.19.1.1>
 24. Omar A.M., Bansal M., Sengupta P.P. Advances in echocardiographic imaging in heart failure with reduced and preserved ejection fraction. *Circ. Res.* 2016; 119 (2): 357–374.
<https://doi.org/10.1161/circresaha.116.309128>
 25. Павлюкова Е.Н., Кужель Д.А., Матюшин Г.В., Савченко Е.А., Филиппова С.А. Ротация, скручивание и раскручивание левого желудочка: физиологическая роль и значение в клинической практике. *Рациональная фармакотерапия в кардиологии*. 2015; 11 (1): 68–78. <https://doi.org/10.20996/1819-6446-2015-11-1-68-78>
 26. Norum I.B., Ruddox V., Edvardsen T., Otterstad J.E. Diagnostic accuracy of left ventricular longitudinal function by speckle tracking echocardiography to predict significant coronary artery stenosis. *BMC Med. Imaging*. 2015; 25 (15): 25.
<https://doi.org/10.1186/s12880-015-0067-y>
 27. Ballester M., Ferreira A., Carreras F. The myocardial band. *Heart Fail. Clin.* 2008; 4 (3): 261–272.
<https://doi.org/10.1016/j.hfc.2008.02.011>
 28. Esch B.T., Warburton D.E. Left ventricular torsion and recoil: implications for exercise performance and cardiovascular disease. *J. Appl. Physiol. (1985)*. 2009; 106 (2): 362–329. <https://doi.org/10.1152/jappphysiol.00144.2008>
 29. Brainin P., Skaarup K.G., Iversen A.Z., Jorgensen P.G., Platz E., Jensen J.S., Biering-Sorensen T. Post-systolic shortening predicts heart failure following acute coronary syndrome. *Int. J. Cardiol.* 2019; 276: 191–197.
<https://doi.org/10.1016/j.ijcard.2018.11.106>
 30. Brainin P., Biering-Sorensen S.R., Mogelvang R., Sogaard P., Jensen J.S., Biering-Sorensen T. Postsystolic shortening by speckle tracking echo-

- cardiography is an independent predictor of cardiovascular events and mortality in the general population. *J. Am. Heart Assoc.* 2018; 7 (6): e008367. <https://doi.org/10.1161/jaha.117.008367>
31. Алехин М.Н., Степанова А.И. Эхокардиография в оценке постсистолического укорочения миокарда левого желудочка сердца. *Кардиология.* 2020; 60 (12): 110–116. <https://doi.org/10.18087/cardio.2020.12.n1087>
 32. Joyce E., Hoogslag G.E., Kamperidis V., Debonnaire P., Katsanos S., Mertens B., Marsan N.A., Bax J.J., Delgado V. Relationship between myocardial function, body mass index, and outcome after ST-segment-elevation myocardial infarction. *Circ. Cardiovasc. Imaging.* 2017; 10 (7): e005670. <https://doi.org/10.1161/circimaging.116.005670>
 33. Elias J., van Dongen I.M., Hoebers L.P., Ouwenel D.M., Claessen B.E.P.M., Ramunddal T., Laanmets P., Eriksen E., Piek J.J., van der Schaaf R.J., Ioanes D., Nijveldt R., Tijssen J.G., Henriques J.P.S., Hirsch A.; EXPLORE investigators. Recovery and prognostic value of myocardial strain in ST-segment elevation myocardial infarction patients with a concurrent chronic total occlusion. *Eur. Radiol.* 2020; 30 (1): 600–608. <https://doi.org/10.1007/s00330-019-06338-x>
 34. Edvardsen T., Haugaa K.H. Strain echocardiography: from variability to predictability. *JACC Cardiovasc. Imaging.* 2018; 11 (1): 35–37. <https://doi.org/10.1016/j.jcmg.2017.03.012>
 35. Badano L.P., Muraru D. The good, the bad, and the ugly of using left ventricular longitudinal myocardial deformation by speckle-tracking echocardiography to assess patients after an acute myocardial infarction. *Circ. Cardiovasc. Imaging.* 2017; 10 (7): e006693. <https://doi.org/10.1161/circimaging.117.006693>
 36. Caspar T., Samet H., Ohana M., Germain P., El Ghannudi S., Talha S., Morel O., Ohlmann P. Longitudinal 2D strain can help diagnose coronary artery disease in patients with suspected non-ST-elevation acute coronary syndrome but apparent normal global and segmental systolic function. *Int. J. Cardiol.* 2017; 236: 91–94. <https://doi.org/10.1016/j.ijcard.2017.02.068>
 37. Santos N.S.S.D., Vilela A.A., Barretto R.B.M., Vale M.P.D., Rezende M.O., Ferreira M.C., Andrade A.J.A., Scorsioni N.H.G., Queiroga O.X., Bihan D.L. Applicability of longitudinal strain of left ventricle in unstable angina. *Arq. Bras. Cardiol.* 2018; 110 (4): 354–361. <https://doi.org/10.5935/abc.20180062>
 38. Yilmaztepe M.A., Ucar F.M. Layer-specific strain analysis in patients with suspected stable angina pectoris and apparently normal left ventricular wall motion. *Cardiovasc. Ultrasound.* 2018; 16 (1): 25. <https://doi.org/10.1186/s12947-018-0144-9>
 39. Collet J.P., Thiele H., Barbato E., Barthelémy O., Bauersachs J., Bhatt D.L., Dendale P., Dorobantu M., Edvardsen T., Folliquet T., Gale C.P., Gilard M., Jobs A., Juni P., Lambrinou E., Lewis B.S., Mehilli J., Meliga E., Merkely B., Mueller C., Roffi M., Rutten F.H., Sibbing D., Siontis G.C.M.; ESC Scientific Document Group. 2020 ESC Guidelines for the management of acute coronary syndromes in patients presenting without persistent ST-segment elevation. *Eur. Heart J.* 2021; 42 (14): 1289–1367. <https://doi.org/10.1093/eurheartj/ehaa575>
 40. Dahlslett T., Karlsen S., Grenne B., Eek C., Sjøli B., Skulstad H., Smiseth O.A., Edvardsen T., Brunvand H. Early assessment of strain echocardiography can accurately exclude significant coronary artery stenosis in suspected non-ST-segment elevation acute coronary syndrome. *J. Am. Soc. Echocardiogr.* 2014; 27 (5): 512–519. <https://doi.org/10.1016/j.echo.2014.01.019>
 41. Feijao A., Pereira S.V., Morais H. Difficulties and pitfalls in performing speckle-tracking echocardiography to assess left ventricular systolic function. *EC Cardiology.* 2020; 7 (8): 30–35. <https://ecronicon.com/eccy/pdf/ECCY-07-00731.pdf>
 42. Farsalinos K.E., Daraban A.M., Unlu S., Thomas J.D., Badano L.P., Voigt J.U. Head-to-head comparison of global longitudinal strain measurements among nine different vendors: the EACVI/ASE inter-vendor comparison study. *J. Am. Soc. Echocardiogr.* 2015; 28 (10): 1171–1181. <https://doi.org/10.1016/j.echo.2015.06.011>
 43. Biering-Sorensen T., Jensen J.S., Pedersen S.H., Galatius S., Fritz-Hansen T., Bech J., Olsen F.J., Mogelvang R. Regional longitudinal myocardial deformation provides incremental prognostic information in patients with ST-segment elevation myocardial infarction. *PLoS One.* 2016; 11 (6): e0158280. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0158280>
 44. Moharram M.A., Lamberts R.R., Whalley G., Williams M.J.A., Coffey S. Myocardial tissue characterisation using echocardiographic deformation imaging. *Cardiovasc. Ultrasound.* 2019; 17 (1): 27. <https://doi.org/10.1186/s12947-019-0176-9>
 45. Pastore M.C., De Carli G., Mandoli G.E., D'Ascenzi F., Focardi M., Contorni F., Mondillo S., Cameli M. The prognostic role of speckle tracking echocardiography in clinical practice: evidence and reference values from the literature. *Heart Fail. Rev.* 2020. <https://doi.org/10.1007/s10741-020-09945-9>
 46. Павлюкова Е.Н., Трубина Е.В., Карпов П.С. Ротация, скручивание и поворот по оси левого желудочка у больных ишемической и дилатационной кардиомиопатией. *Ультразвуковая и функциональная диагностика.* 2013; 1: 44–53.
 47. Fazlinejad A., Samadzade A., Khameneh Bagheri R., Tousi N., Rezaeian A. Does global longitudinal speckle-tracking strain predict left ventricular remodeling in patients with myocardial infarction? a systematic review. *Rev. Clin. Med.* 2016; 3 (3): 111–116. <https://doi.org/10.17463/RCM.2016.03.005>
 48. Xu L., Huang X., Ma J., Huang J., Fan Y., Li H., Qiu J., Zhang H., Huang W. Value of three-dimensional strain parameters for predicting left ventricular remodeling after ST-elevation myocardial infarction. *Int. J. Cardiovasc. Imaging.* 2017; 33 (5): 663–673. <https://doi.org/10.1007/s10554-016-1053-3>
 49. Cheng S., McCabe E.L., Larson M.G., Merz A.A., Osypiuk E., Lehman B.T., Stantchev P., Aragam J., Solomon S.D., Benjamin E.J., Chavan R.S. Distinct aspects of left ventricular mechanical function are

- differentially associated with cardiovascular outcomes and all-cause mortality in the community. *J. Am. Heart Assoc.* 2015; 4 (10): e002071. <https://doi.org/10.1161/jaha.115.002071>
50. Al Saikhan L., Park C., Hardy R., Hughes A. Prognostic implications of left ventricular strain by speckle-tracking echocardiography in the general population: a meta-analysis. *Vasc. Health Risk Manag.* 2019; 15: 229–251. <https://doi.org/10.2147/vhrm.s206747>
 51. Unlu S., Mirea O., Pagourelas E.D., Duchenne J., Bezy S., Bogaert J., Thomas J.D., Badano L.P., Voigt J.U.; EACVI-ASE-Industry Standardization Task Force. Layer-specific segmental longitudinal strain measurements: capability of detecting myocardial scar and differences in feasibility, accuracy, and reproducibility, among four vendors a report from the EACVI-ASE Strain Standardization Task Force. *J. Am. Soc. Echocardiogr.* 2019; 32 (5): 624–632.e11. <https://doi.org/10.1016/j.echo.2019.01.010>
 52. Alcidi G.M., Esposito R., Evola V., Santoro C., Lembo M., Sorrentino R., Lo Iudice F., Borgia F., Novo G., Trimarco B., Lancellotti P., Galderisi M. Normal reference values of multilayer longitudinal strain according to age decades in a healthy population: a single-centre experience. *Eur. Heart J. Cardiovasc. Imaging.* 2018; 19 (12): 1390–1396. <https://doi.org/10.1093/ehjci/jex306>
 53. Scharrenbroich J., Hamada S., Keszei A., Schroder J., Napp A., Almalla M., Becker M., Altiok E. Use of two-dimensional speckle tracking echocardiography to predict cardiac events: comparison of patients with acute myocardial infarction and chronic coronary artery disease. *Clin. Cardiol.* 2018; 41 (1): 111–118. <https://doi.org/10.1002/clc.22860>
 54. Shi J., Pan C., Kong D., Cheng L., Shu X. Left ventricular longitudinal and circumferential layer-specific myocardial strains and their determinants in healthy subjects. *Echocardiography.* 2016; 33 (4): 510–518. <https://doi.org/10.1111/echo.13132>
 55. Sun M., Dong Y., Wang Y., Li G., Huang D. Assessment of the left ventricular function in patients with uremia using layer-specific 2-dimensional speckle tracking echocardiography. *Medicine (Baltimore).* 2019; 98 (9): e14656. <https://doi.org/10.1097/md.00000000000014656>
 56. Biering-Sorensen T., Biering-Sorensen S.R., Olsen F.J., Sengelov M., Jorgensen P.G., Mogelvang R., Shah A.M., Jensen J.S. 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 (3): e005521. <https://doi.org/10.1161/circimaging.116.005521>
 57. Stankovic I., Putnikovic B., Cvjetan R., Milicevic P., Panic M., Kalezic-Radmili T., Mandaric T., Vidakovic R., Cvorovic V., Neskovic A.N. Visual assessment vs. strain imaging for the detection of critical stenosis of the left anterior descending coronary artery in patients without a history of myocardial infarction. *Eur. Heart J. Cardiovasc. Imaging.* 2015; 16 (4): 402–409. <https://doi.org/10.1093/ehjci/jeu206>
 58. Gozdzik A., Letachowicz K., Grajek B.B., Plonek T., Obremaska M., Jasinski M., Gozdzik W. Application of strain and other echocardiographic parameters in the evaluation of early and long-term clinical outcomes after cardiac surgery revascularization. *BMC Cardiovasc Disord.* 2019; 19 (1): 189. <https://doi.org/10.1186/s12872-019-1162-8>
 59. Park S.J., Park J.H., Lee H.S., Kim M.S., Park Y.K., Park Y., Kim Y.J., Lee J.H., Choi S.W., Jeong J.O., Kwon I.S., Seong I.W. Impaired RV global longitudinal strain is associated with poor long-term clinical outcomes in patients with acute inferior STEMI. *JACC Cardiovasc. Imaging.* 2015; 8 (2): 161–169. <https://doi.org/10.1016/j.jcmg.2014.10.011>
 60. Garcia-Martin A., Moya-Mur J.L., Carbonell-San Roman S.A., Garcia-Lledo A., Navas-Tejedor P., Muriel A., Rodriguez-Munoz D., Casas-Rojo E., Jimenez-Nacher J.J., Fernandez-Golfin C., Zamorano J.L. Four chamber right ventricular longitudinal strain versus right free wall longitudinal strain. Prognostic value in patients with left heart disease. *Cardiol. J.* 2016; 23 (2): 189–194. <https://doi.org/10.5603/cj.a2015.0079>
 61. Xie M.Y., Lv Q., Wang J., Yin J.B. Assessment of myocardial segmental function with coronary artery stenosis in multi-vessel coronary disease patients with normal wall motion. *Eur. Rev. Med. Pharmacol. Sci.* 2016; 20 (8): 1582–1589. www.europeanreview.org/article/10679
 62. Yagmur J., Acikgoz N., Cansel M., Ermis N., Karakus Y., Kurtoglu E. Assessment of the left ventricular systolic function in cardiac syndrome X using speckle tracking echocardiography. *Anatol. J. Cardiol.* 2016; 16 (6): 419–423. <https://doi.org/10.5152/anatoljcardiol.2015.6388>
 63. Huttin O., Coiro S., Selton-Suty C., Juilliere Y., Donal E., Magne J., Sadoul N., Zannad F., Rossignol P., Girerd N. Prediction of left ventricular remodeling after a myocardial infarction: role of myocardial deformation: a systematic review and meta-analysis. *PLoS One.* 2016; 11 (12): e0168349. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0168349>
 64. Hubbard R.T., Arciniegas Calle M.C., Barros-Gomes S., Kukuzke J.A., Pellikka P.A., Gulati R., Villarraga H.R. 2-Dimensional speckle tracking echocardiography predicts severe coronary artery disease in women with normal left ventricular function: a case-control study. *BMC Cardiovasc. Disord.* 2017; 17 (1): 231. <https://doi.org/10.1186/s12872-017-0656-5>
 65. Mele D., Trevisan F., D'Andrea A., Luisi G.A., Smarrazzo V., Pestelli G., Flamigni F., Ferrari R. Speckle tracking echocardiography in non-ST-segment elevation acute coronary syndromes. *Curr. Probl. Cardiol.* 2021; 46 (3): 100418. <https://doi.org/10.1016/j.cpcardiol.2019.03.007>
 66. Liu K., Wang Y., Hao Q., Li G., Chen P., Li D. Evaluation of myocardial viability in patients with acute myocardial infarction: layer-specific analysis of 2-dimensional speckle tracking echocardiography. *Medicine (Baltimore).* 2019; 98 (3): e13959. <https://doi.org/10.1097/md.00000000000013959>

67. Luis S.A., Yamada A., Khandheria B.K., Speranza V., Benjamin A., Ischenko M., Platts D.G., Hamilton-Craig C.R., Haseler L., Burstow D., Chan J. Use of three-dimensional speckle-tracking echocardiography for quantitative assessment of global left ventricular function: a comparative study to three-dimensional echocardiography. *J. Am. Soc. Echocardiogr.* 2014; 27 (3): 285–291. <https://doi.org/10.1016/j.echo.2013.11.002>
68. Radwan H., Hussein E. Value of global longitudinal strain by two-dimensional speckle tracking echocardiography in predicting coronary artery disease severity. *Egypt. Heart J.* 2017; 69 (2): 95–101. <https://doi.org/10.1016/j.ehj.2016.08.001>
69. Liu C., Li J., Ren M., Wang Z.Z., Li Z.Y., Gao F., Tian J.W. Multilayer longitudinal strain at rest may help to predict significant stenosis of the left anterior descending coronary artery in patients with suspected non-ST-elevation acute coronary syndrome. *Int. J. Cardiovasc. Imaging.* 2016; 32 (12): 1675–1685. <https://doi.org/10.1007/s10554-016-0959-0>
70. Cai Z., Dai J., Wu D., Qiu J., Ma J., Li G., Zhu W., Lei H., Huang W., Zhang H., Xu L. The value of 3-dimensional longitudinal strain in the evaluation of complex coronary lesions in non-ST-segment elevation acute coronary syndrome patient. *Medicine (Baltimore).* 2016; 95 (39): e4667. <https://doi.org/10.1097/md.0000000000004667>
71. Nishi T., Funabashi N., Ozawa K., Takahara M., Fujimoto Y., Kamata T., Kobayashi Y. Resting multilayer 2D speckle-tracking transthoracic echocardiography for the detection of clinically stable myocardial ischemic segments confirmed by invasive fractional flow reserve. Part 1: vessel-by-vessel analysis. *Int. J. Cardiol.* 2016; 218: 324–332. <https://doi.org/10.1016/j.ijcard.2016.05.016>
72. Rumbinaite E., Zaliaduonyte-Peksiene D., Lapinskas T., Zvirblyte R., Karuzas A., Jonauskienė I., Viezelis M., Ceponienė I., Gustienė O., Slapikas R., Vaskelyte J.J. Early and late diastolic strain rate vs global longitudinal strain at rest and during dobutamine stress for the assessment of significant coronary artery stenosis in patients with a moderate and high probability of coronary artery disease. *Echocardiography.* 2016; 33 (10): 1512–1522. <https://doi.org/10.1111/echo.13282>
73. Liou K., Negishi K., Ho S., Russell E.A., Cranney G., Ooi S.Y. Detection of obstructive coronary artery disease using peak systolic global longitudinal strain derived by two-dimensional speckle-tracking: a systematic review and meta-analysis. *J. Am. Soc. Echocardiogr.* 2016; 29 (8): 724–735. <https://doi.org/10.1016/j.echo.2016.03.002>
74. Mahjoob M.P., Alipour Parsa S., Mazarei A., Safi M., Khareshi I., Esmaeeli S. Rest 2D speckle tracking echocardiography may be a sensitive but nonspecific test for detection of significant coronary artery disease. *Acta Biomed.* 2018; 88 (4): 457–461. <https://doi.org/10.23750/abm.v88i4.5445>
75. Hagemann C.E., Hoffmann S., Olsen F.J., Jorgensen P.G., Fritz-Hansen T., Jensen J.S., Biering-Sorensen T. Layer-specific global longitudinal strain reveals impaired cardiac function in patients with reversible ischemia. *Echocardiography.* 2018; 35 (5): 632–642. <https://doi.org/10.1111/echo.13830>
76. Tarascio M., Leo L.A., Klersy C., Murzilli R., Moccetti T., Faletra F.F. Speckle-tracking layer-specific analysis of myocardial deformation and evaluation of scar transmural extent in chronic ischemic heart disease. *J. Am. Soc. Echocardiogr.* 2017; 30 (7): 667–675. <https://doi.org/10.1016/j.echo.2017.03.015>
77. Lassen M.C.H., Skaarup K.G., Iversen A.Z., Jorgensen P.G., Olsen F.J., Galatius S., Biering-Sorensen T. Ratio of transmitral early filling velocity to early diastolic strain rate as a predictor of cardiovascular morbidity and mortality following acute coronary syndrome. *Am. J. Cardiol.* 2019; 123 (11): 1776–1782. <https://doi.org/10.1016/j.amjcard.2019.03.004>
78. Kowalczyk E., Kasprzak J.D., Wejner-Mik P., Wdowiak-Okrojek K., Lipiec P. Diagnostic utility of two-dimensional speckle tracking echocardiography to identify ischemic etiology of left ventricular systolic dysfunction. *Echocardiography.* 2019; 36 (4): 702–706. <https://doi.org/10.1111/echo.14312>
79. Favot M., Courage C., Ehrman R., Khait L., Levy P. Strain echocardiography in acute cardiovascular diseases. *West. J. Emerg. Med.* 2016; 17 (1): 54–60. <https://doi.org/10.5811/westjem.2015.12.28521>
80. Brainin P., Haahr-Pedersen S., Sengelov M., Olsen F.J., Fritz-Hansen T., Jensen J.S., Biering-Sorensen T. Presence of post-systolic shortening is an independent predictor of heart failure in patients following ST-segment elevation myocardial infarction. *Int. J. Cardiovasc. Imaging.* 2018; 34 (5): 751–760. <https://doi.org/10.1007/s10554-017-1288-7>
81. Rostamzadeh A., Shojaeifard M., Rezaei Y., Dehghan K. Diagnostic accuracy of myocardial deformation indices for detecting high risk coronary artery disease in patients without regional wall motion abnormality. *Int. J. Clin. Exp. Med.* 2015; 8 (6): 9412–9420.
82. Skaarup K.G., Iversen A., Jorgensen P.G., Olsen F.J., Grove G.L., Jensen J.S., Biering-Sorensen T. Association between layer-specific global longitudinal strain and adverse outcomes following acute coronary syndrome. *Eur. Heart J. Cardiovasc. Imaging.* 2018; 19 (12): 1334–1342. <https://doi.org/10.1093/ehjci/jej004>
83. Wang P., Liu Y., Ren L. Evaluation of left ventricular function after percutaneous recanalization of chronic coronary occlusions: the role of two-dimensional speckle tracking echocardiography. *Herz.* 2019; 44 (2): 170–174. <https://doi.org/10.1007/s00059-017-4663-1>
84. Karlens S., Dahlslett T., Grenne B., Sjøli B., Smiseth O., Edvardsen T., Brunvand H. Global longitudinal strain is a more reproducible measure of left ventricular function than ejection fraction regardless of echocardiographic training. *Cardiovasc. Ultrasound.* 2019; 17 (1): 18. <https://doi.org/10.1186/s12947-019-0168-9>
85. Biering-Sorensen T., Olsen F.J., Storm K., Fritz-Hansen T., Olsen N.T., Jons C., Vinther M., Sogaard P., Risum N. Prognostic value of tissue

- Doppler imaging for predicting ventricular arrhythmias and cardiovascular mortality in ischaemic cardiomyopathy. *Eur. Heart J. Cardiovasc. Imaging*. 2016; 17 (7): 722–731. <https://doi.org/10.1093/ehjci/jew066>
86. Cha M.J., Kim H.S., Kim S.H., 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): e0186437. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0174160>
 87. Atici A., Barman H.A., Durmaz E., Demir K., Cakmak R., Tugrul S., Elitok A., Onur I., Sahin I., Oncul A. Predictive value of global and territorial longitudinal strain imaging in detecting significant coronary artery disease in patients with myocardial infarction without persistent ST-segment elevation. *Echocardiography*. 2019; 36 (3): 512–520. <https://doi.org/10.1111/echo.14275>
 88. Milewska A., Minczykowski A., Krauze T., Piskorski J., Heathers J., Szczepanik A., Banaszak A., Guzik P., Wykretowicz A. Prognosis after acute coronary syndrome in relation with ventricular-arterial coupling and left ventricular strain. *Int. J. Cardiol*. 2016; 220: 343–348. <https://doi.org/10.1016/j.ijcard.2016.06.173>
 89. Smiseth O.A., Torp H., Opdahl A., Haugaa K.H., Urheim S. Myocardial strain imaging: how useful is it in clinical decision making? *Eur. Heart J*. 2016; 37 (15): 1196–1207. <https://doi.org/10.1093/eurheartj/ehv529>
 90. Eitel I., Stiermaier T., Lange T., Rommel K.P., Koschalka A., Kowallick J.T., Lotz J., Kutty S., Gutberlet M., Hasenfub G., Thiele H., Schuster A. Cardiac magnetic resonance myocardial feature tracking for optimized prediction of cardiovascular events following myocardial infarction. *JACC Cardiovasc. Imaging*. 2018; 11 (10): 1433–1444. <https://doi.org/10.1016/j.jcmg.2017.11.034>
 91. Bendary A., Tawfeek W., Mahros M., Salem M. The predictive value of global longitudinal strain on clinical outcome in patients with ST-segment elevation myocardial infarction and preserved systolic function. *Echocardiography*. 2018; 35 (7): 915–921. <https://doi.org/10.1111/echo.13866>
 92. Dohi K., Sugiura E., Ito M. Utility of strain-echocardiography in current clinical practice. *J. Echocardiogr*. 2016; 14 (2): 61–70. <https://doi.org/10.1007/s12574-016-0282-8>
 93. Sengelov M., Jorgensen P.G., Jensen J.S., Bruun N.E., Olsen F.J., Fritz-Hansen T., Nochioka K., Biering-Sorensen T. Global longitudinal strain is a superior predictor of all-cause mortality in heart failure with reduced ejection fraction. *JACC Cardiovasc. Imaging*. 2015; 8 (12): 1351–1359. <https://doi.org/10.1016/j.jcmg.2015.07.013>
 94. Romano S., Mansour I.N., Kansal M., Gheith H., Dowdy Z., Dickens C.A., Buto-Colletti C., Chae J.M., Saleh H.H., Stamos T.D. Left ventricular global longitudinal strain predicts heart failure readmission in acute decompensated heart failure. *Cardiovasc. Ultrasound*. 2017; 15 (1): 6. <https://doi.org/10.1186/s12947-017-0098-3>
 95. Huttin O., Marie P.Y., Benichou M., Bozec E., Lemoine S., Mandry D., Juilliere Y., Sadoul N., Micard E., Duarte K., Beaumont M., Rossignol P., Girerd N., Selton-Suty C. Temporal deformation pattern in acute and late phases of ST-elevation myocardial infarction: incremental value of longitudinal post-systolic strain to assess myocardial viability. *Clin. Res. Cardiol*. 2016; 105 (10): 815–826. <https://doi.org/10.1007/s00392-016-0989-6>
 96. Fernandez M.C., Roubin S.R., Abu-Assi E., Fernandez S.M., Dascenzo F., Henriques J.P.S., Saucedo J., Blanco P.F., Sanchez F.C., Sole A.A., Pousa I.M., Queija B.C., Paz R.C., Rodriguez E.L., Romo A.I., BleeMACS – CardioCHUVI/ARRITXACA – RENAMI, P4623. Impact of left ventricular ejection fraction in ischemic and bleeding risk after an acute coronary syndrome. *Eur. Heart J*. 2019; 40 (1): e4623. <https://doi.org/10.1093/eurheartj/ehz745.1005>
 97. Shiino K., Yamada A., Ischenko M., Khandheria B.K., Hudaverdi M., Speranza V., Harten M., Benjamin A., Hamilton-Craig C.R., Platts D.G., Burstow D.J., Scalia G.M., Chan J. Intervendor consistency and reproducibility of left ventricular 2D global and regional strain with two different high-end ultrasound systems. *Eur. Heart J. Cardiovasc. Imaging*. 2017; 18 (6): 707–716. <https://doi.org/10.1093/ehjci/jew120>
 98. Negishi T., Negishi K., Thavendiranathan P., Cho G.Y., Popescu B.A., Vinereanu D., Kurosawa K., Penicka M., Marwick T.H.; SUCCOUR Investigators. Effect of experience and training on the concordance and precision of strain measurements. *JACC Cardiovasc. Imaging*. 2017; 10 (5): 518–522. <https://doi.org/10.1016/j.jcmg.2016.06.012>
 99. Krittanawong C., Zhang H., Wang Z., Aydar M., Kitai T. Artificial intelligence in precision cardiovascular medicine. *J. Am. Coll. Cardiol*. 2017; 69 (21): 2657–2664. <https://doi.org/10.1016/j.jacc.2017.03.571>

REFERENCES

1. Hensel K.O., Wilke L., Heusch A. Transthoracic speckle tracking echocardiography for the quantitative assessment of left ventricular myocardial deformation. *J. Vis. Exp*. 2016; 116 e: 54736. <https://doi.org/10.3791/54736>
2. Lang R.M., Badano L.P., Mor-Avi V., Afilalo J., Armstrong A., Ernande L., Flachskampf F.A., Foster E., Goldstein S.A., Kuznetsova T., Lancellotti P., Muraru D., Picard M.H., Rietzschel E.R., Rudski L., Spencer K.T., Tsang W., Voigt J.U. 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. Soc. Echocardiogr*. 2015; 28 (1): 1–39.e14. <https://doi.org/10.1016/j.echo.2014.10.003>
3. Xie M.Y., Yin J.B., Lv Q., Wang J. Assessment of the left ventricular systolic function in multi-vessel coronary artery disease with normal wall motion by two-dimensional speckle tracking echocardiography. *Eur. Rev. Med. Pharmacol. Sci*. 2015; 19 (20): 3928–3934.

4. Liu J.H., Chen Y., Yuen M., Zhen Z., Chan C.W., Lam K.S., Tse H.F., Yiu K.H. Incremental prognostic value of global longitudinal strain in patients with type 2 diabetes mellitus. *Cardiovasc. Diabetol.* 2016; 15: 22. <https://doi.org/10.1186/s12933-016-0333-5>
5. Madry W., Karolczak M.A. Physiological basis in the assessment of myocardial mechanics using speckle-tracking echocardiography 2D. Part I. *J. Ultrason.* 2016; 16 (65): 135–144. <https://doi.org/10.15557/jou.2016.0015>
6. Madry W., Karolczak M.A. Physiological basis in the assessment of myocardial mechanics using speckle-tracking echocardiography 2D. Part II. *J. Ultrason.* 2016; 16 (66): 304–316. <https://doi.org/10.15557/jou.2016.0031>
7. Muraru D., Niero A., Rodriguez-Zanella H., Cherata D., Badano L. Three-dimensional speckle-tracking echocardiography: benefits and limitations of integrating myocardial mechanics with three-dimensional imaging. *Cardiovasc. Diagn. Ther.* 2018; 8 (1): 101–117. <https://doi.org/10.21037/cdt.2017.06.01>
8. Lang R.M., Addetia K., Narang A., Mor-Avi V. 3-Dimensional echocardiography: latest developments and future directions. *JACC Cardiovasc. Imaging.* 2018; 11 (12): 1854–1878. <https://doi.org/10.1016/j.jcmg.2018.06.024>
9. Levy P.T., Machefsky A., Sanchez A.A., Patel M.D., Rogal S., Fowler S., Yaeger L., Hardi A., Holland M.R., Hamvas A., Singh G.K. Reference ranges of left ventricular strain measures by two-dimensional speckle-tracking echocardiography in children: a systematic review and meta-analysis. *J. Am. Soc. Echocardiogr.* 2016; 29 (3): 209–225.e6. <https://doi.org/10.1016/j.echo.2015.11.016>
10. Mirea O., Pagourelas E.D., Duchenne J., Bogaert J., Thomas J.D., Badano L.P., Voigt J.U.; EACVI-ASE-Industry Standardization Task Force. Variability and reproducibility of segmental longitudinal strain measurement: a report from the EACVI-ASE Strain Standardization Task Force. *JACC Cardiovasc. Imaging.* 2018; 11 (1): 15–24. <https://doi.org/10.1016/j.jcmg.2017.01.027>
11. Mirea O., Corici O.M., Berceanu M., Donoiu I., Militaru C., Istratoae O. Variability of longitudinal strain measurements: levelling the playing field. *Acta Cardiol.* 2019; 74 (3): 188–197. <https://doi.org/10.1080/00015385.2018.1480469>
12. Voigt J.U., Cvijic M. 2- and 3-Dimensional myocardial strain in cardiac health and disease. *JACC Cardiovasc. Imaging.* 2019; 12 (9): 1849–1863. <https://doi.org/10.1016/j.jcmg.2019.01.044>
13. Kihlberg J., Haraldsson H., Sigfridsson A., Ebbers T., Engvall J.E. Clinical experience of strain imaging using DENSE for detecting infarcted cardiac segments. *J. Cardiovasc. Magn. Reson.* 2015; 17 (1): 50. <https://doi.org/10.1186/s12968-015-0155-8>
14. Kim J., Rodriguez-Diego S., Srinivasan A., Brown R.M., Pollie M.P., Di Franco A., Goldburg S.R., Siden J.Y., Ratcliffe M.B., Levine R.A., Devereux R.B., Weinsaft J.W. Echocardiography-quantified myocardial strain—a marker of global and regional infarct size that stratifies likelihood of left ventricular thrombus. *Echocardiography.* 2017; 34 (11): 1623–1632. <https://doi.org/10.1111/echo.13668>
15. Sutherland G.R., Hatle L., Rademakers F.E. *Doppler myocardial imaging.* Leuven University Press, 2003. 99 p.
16. Nagata Y., Wu V.C., Otsuji Y., Takeuchi M. Normal range of myocardial layer-specific strain using two-dimensional speckle tracking echocardiography. *PLoS One.* 2017; 12 (6): e0180584. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0180584>
17. Hoffman J.I.E. Will the real ventricular architecture please stand up? *Physiol. Rep.* 2017; 5 (18): e13404. <https://doi.org/10.14814/phy2.13404>
18. Torrent-Guasp F., Kocica M.J., Corno A.F., Komeda M., Carreras-Costa F., Flotats A., Cosin-Aguillar J., Wen H. Towards new understanding of the heart structure and function. *Eur. J. Cardiothorac. Surg.* 2005; 27: 191–201. <https://doi.org/10.1016/j.ejcts.2004.11.026>
19. Buckberg G.D., Nanda N.C., Nguyen C., Kocica M.J. What is the heart? Anatomy, function, pathophysiology, and misconceptions. *J. Cardiovasc. Dev. Dis.* 2018; 5 (2): 33. <https://doi.org/10.3390/jcdd5020033>
20. Mora V., Roldan I., Romero E., Sauri A., Romero D., Perez-Gozalbo J., Ugalde N., Bertolin J., Rodriguez-Israel M., Delgado C.P., Lowenstein J.A. Myocardial contraction during the diastolic isovolumetric period: analysis of longitudinal strain by means of speckle tracking echocardiography. *J. Cardiovasc. Dev. Dis.* 2018; 5 (3): 41. <https://doi.org/10.3390/jcdd5030041>
21. Kocabay G., Muraru D., Peluso D., Cucchini U., Mihaila S., Padayattil-Jose S., Gentian D., Iliceto S., Vinereanu D., Badano L.P. Normal left ventricular mechanics by two-dimensional speckle-tracking echocardiography. Reference values in healthy adults. *Rev. Esp. Cardiol. (Engl. Ed.).* 2014; 67 (8): 651–658. <https://doi.org/10.1016/j.rec.2013.12.009>
22. Anderson R.H., Lunkenheimer P.P., Jarvis J.J., Stephenson R., MacIver D.H., Agger P. Assessment of the helical ventricular myocardial band using standard echocardiography. *Echocardiography.* 2015; 32 (10): 1601–1602. <https://doi.org/10.1111/echo.13031>
23. Nakatani S. Left ventricle rotation and twist: why should we learn? *J. Cardiovasc. Ultrasound.* 2011; 19 (1): 1–6. <https://doi.org/10.4250/jcu.2011.19.1.1>
24. Omar A.M., Bansal M., Sengupta P.P. Advances in echocardiographic imaging in heart failure with reduced and preserved ejection fraction. *Circ. Res.* 2016; 119 (2): 357–374. <https://doi.org/10.1161/circresaha.116.309128>
25. Pavlyukova E.N., Kuzhel D.A., Matyushin G.V., Savchenko E.A., Filippova S.A. Left ventricular rotation, twist, and untwist: physiological role and clinical prevalence. *Rational Pharmacotherapy in Cardiology.* 2015; 11 (1): 68–78. <https://doi.org/10.20996/1819-6446-2015-11-1-68-78> (in Russian)
26. Norum I.B., Ruddox V., Edvardsen T., Otterstad J.E. Diagnostic accuracy of left ventricular longitudinal function by speckle tracking echocardiography to predict significant coronary artery

- stenosis. *BMC Med. Imaging*. 2015; 25 (15): 25. <https://doi.org/10.1186/s12880-015-0067-y>
27. Ballester M., Ferreira A., Carreras F. The myocardial band. *Heart Fail. Clin.* 2008; 4 (3): 261–272. <https://doi.org/10.1016/j.hfc.2008.02.011>
 28. Esch B.T., Warburton D.E. Left ventricular torsion and recoil: implications for exercise performance and cardiovascular disease. *J. Appl. Physiol. (1985)*. 2009; 106 (2): 362–329. <https://doi.org/10.1152/japplphysiol.00144.2008>
 29. Brainin P., Skaarup K.G., Iversen A.Z., Jorgensen P.G., Platz E., Jensen J.S., Biering-Sorensen T. Post-systolic shortening predicts heart failure following acute coronary syndrome. *Int. J. Cardiol.* 2019; 276: 191–197. <https://doi.org/10.1016/j.ijcard.2018.11.106>
 30. Brainin P., Biering-Sorensen S.R., Mogelvang R., Sogaard P., Jensen J.S., Biering-Sorensen T. Postsystolic shortening by speckle tracking echocardiography is an independent predictor of cardiovascular events and mortality in the general population. *J. Am. Heart Assoc.* 2018; 7 (6): e008367. <https://doi.org/10.1161/jaha.117.008367>
 31. Alekhin M.N., Stepanova A.I. Echocardiography in the assessment of postsystolic shortening of the left ventricle myocardium of the heart. *Kardiologiya*. 2020; 60 (12): 110–116. <https://doi.org/10.18087/cardio.2020.12.n1087> (in Russian)
 32. Joyce E., Hoogslag G.E., Kamperidis V., Debonnaire P., Katsanos S., Mertens B., Marsan N.A., Bax J.J., Delgado V. Relationship between myocardial function, body mass index, and outcome after ST-segment-elevation myocardial infarction. *Circ. Cardiovasc. Imaging*. 2017; 10 (7): e005670. <https://doi.org/10.1161/circimaging.116.005670>
 33. Elias J., van Dongen I.M., Hoebbers L.P., Ouwenel D.M., Claessen B.E.P.M., Ramunddal T., Laanmets P., Eriksen E., Piek J.J., van der Schaaf R.J., Ioanes D., Nijveldt R., Tijssen J.G., Henriques J.P.S., Hirsch A.; EXPLORE investigators. Recovery and prognostic value of myocardial strain in ST-segment elevation myocardial infarction patients with a concurrent chronic total occlusion. *Eur. Radiol.* 2020; 30 (1): 600–608. <https://doi.org/10.1007/s00330-019-06338-x>
 34. Edvardsen T., Haugaa K.H. Strain echocardiography: from variability to predictability. *JACC Cardiovasc. Imaging*. 2018; 11 (1): 35–37. <https://doi.org/10.1016/j.jcmg.2017.03.012>
 35. Badano L.P., Muraru D. The good, the bad, and the ugly of using left ventricular longitudinal myocardial deformation by speckle-tracking echocardiography to assess patients after an acute myocardial infarction. *Circ. Cardiovasc. Imaging*. 2017; 10 (7): e006693. <https://doi.org/10.1161/circimaging.117.006693>
 36. Caspar T., Samet H., Ohana M., Germain P., El Ghannudi S., Talha S., Morel O., Ohlmann P. Longitudinal 2D strain can help diagnose coronary artery disease in patients with suspected non-ST-elevation acute coronary syndrome but apparent normal global and segmental systolic function. *Int. J. Cardiol.* 2017; 236: 91–94. <https://doi.org/10.1016/j.ijcard.2017.02.068>
 37. Santos N.S.S.D., Vilela A.A., Barretto R.B.M., Vale M.P.D., Rezende M.O., Ferreira M.C., Andrade A.J.A., Scorsioni N.H.G., Queiroga O.X., Bihan D.L. Applicability of longitudinal strain of left ventricle in unstable angina. *Arq. Bras. Cardiol.* 2018; 110 (4): 354–361. <https://doi.org/10.5935/abc.20180062>
 38. Yilmaztepe M.A., Ucar F.M. Layer-specific strain analysis in patients with suspected stable angina pectoris and apparently normal left ventricular wall motion. *Cardiovasc. Ultrasound*. 2018; 16 (1): 25. <https://doi.org/10.1186/s12947-018-0144-9>
 39. Collet J.P., Thiele H., Barbato E., Barthelémy O., Bauersachs J., Bhatt D.L., Dendale P., Dorobantu M., Edvardsen T., Folliguet T., Gale C.P., Gilard M., Jobs A., Juni P., Lambrinou E., Lewis B.S., Mehili J., Meliga E., Merkely B., Mueller C., Roffi M., Rutten F.H., Sibbing D., Siontis G.C.M.; ESC Scientific Document Group. 2020 ESC Guidelines for the management of acute coronary syndromes in patients presenting without persistent ST-segment elevation. *Eur. Heart J.* 2021; 42 (14): 1289–1367. <https://doi.org/10.1093/eurheartj/ehaa575>
 40. Dahlslett T., Karlsen S., Grenne B., Eek C., Sjøli B., Skulstad H., Smiseth O.A., Edvardsen T., Brunvand H. Early assessment of strain echocardiography can accurately exclude significant coronary artery stenosis in suspected non-ST-segment elevation acute coronary syndrome. *J. Am. Soc. Echocardiogr.* 2014; 27 (5): 512–519. <https://doi.org/10.1016/j.echo.2014.01.019>
 41. Feijao A., Pereira S.V., Morais H. Difficulties and pitfalls in performing speckle-tracking echocardiography to assess left ventricular systolic function. *EC Cardiology*. 2020; 7 (8): 30–35. <https://eicon.com/eccy/pdf/ECCY-07-00731.pdf>
 42. Farsalinos K.E., Daraban A.M., Unlu S., Thomas J.D., Badano L.P., Voigt J.U. Head-to-head comparison of global longitudinal strain measurements among nine different vendors: the EACVI/ASE inter-vendor comparison study. *J. Am. Soc. Echocardiogr.* 2015; 28 (10): 1171–1181. <https://doi.org/10.1016/j.echo.2015.06.011>
 43. Biering-Sorensen T., Jensen J.S., Pedersen S.H., Galatius S., Fritz-Hansen T., Bech J., Olsen F.J., Mogelvang R. Regional longitudinal myocardial deformation provides incremental prognostic information in patients with ST-segment elevation myocardial infarction. *PLoS One*. 2016; 11 (6): e0158280. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0158280>
 44. Moharram M.A., Lamberts R.R., Whalley G., Williams M.J.A., Coffey S. Myocardial tissue characterisation using echocardiographic deformation imaging. *Cardiovasc. Ultrasound*. 2019; 17 (1): 27. <https://doi.org/10.1186/s12947-019-0176-9>
 45. Pastore M.C., De Carli G., Mandoli G.E., D'Ascenzi F., Focardi M., Contorni F., Mondillo S., Cameli M. The prognostic role of speckle tracking echocardiography in clinical practice: evidence and reference values from the literature. *Heart Fail. Rev.* 2020. <https://doi.org/10.1007/s10741-020-09945-9>
 46. Pavlyukova E.N., Trubina E.V., Karpov R.S. Left ventricle rotation, twist and torsion in patients

- with dilated and ischemic cardiomyopathy. *Ultrasound and Functional Diagnostics*. 2013; 1: 44–53. (in Russian)
47. Fazlinejad A., Samadzade A., Khameneh Bagheri R., Tousi N., Rezaeian A. Does global longitudinal speckle-tracking strain predict left ventricular remodeling in patients with myocardial infarction? a systematic review. *Rev. Clin. Med.* 2016; 3 (3): 111–116. <https://doi.org/10.17463/RCM.2016.03.005>
 48. Xu L., Huang X., Ma J., Huang J., Fan Y., Li H., Qiu J., Zhang H., Huang W. Value of three-dimensional strain parameters for predicting left ventricular remodeling after ST-elevation myocardial infarction. *Int. J. Cardiovasc. Imaging*. 2017; 33 (5): 663–673. <https://doi.org/10.1007/s10554-016-1053-3>
 49. Cheng S., McCabe E.L., Larson M.G., Merz A.A., Osypiuk E., Lehman B.T., Stantchev P., Aragam J., Solomon S.D., Benjamin E.J., Vasan R.S. Distinct aspects of left ventricular mechanical function are differentially associated with cardiovascular outcomes and all-cause mortality in the community. *J. Am. Heart Assoc.* 2015; 4 (10): e002071. <https://doi.org/10.1161/jaha.115.002071>
 50. Al Saikhan L., Park C., Hardy R., Hughes A. Prognostic implications of left ventricular strain by speckle-tracking echocardiography in the general population: a meta-analysis. *Vasc. Health Risk Manag.* 2019; 15: 229–251. <https://doi.org/10.2147/vhrm.s206747>
 51. Unlu S., Mirea O., Pagourelas E.D., Duchenne J., Bezy S., Bogaert J., Thomas J.D., Badano L.P., Voigt J.U.; EACVI-ASE-Industry Standardization Task Force. Layer-specific segmental longitudinal strain measurements: capability of detecting myocardial scar and differences in feasibility, accuracy, and reproducibility, among four vendors a report from the EACVI-ASE Strain Standardization Task Force. *J. Am. Soc. Echocardiogr.* 2019; 32 (5): 624–632.e11. <https://doi.org/10.1016/j.echo.2019.01.010>
 52. Alcidi G.M., Esposito R., Evola V., Santoro C., Lembo M., Sorrentino R., Lo Iudice F., Borgia F., Novo G., Trimarco B., Lancellotti P., Galderisi M. Normal reference values of multilayer longitudinal strain according to age decades in a healthy population: a single-centre experience. *Eur. Heart J. Cardiovasc. Imaging*. 2018; 19 (12): 1390–1396. <https://doi.org/10.1093/ehjci/jex306>
 53. Scharrenbroich J., Hamada S., Keszei A., Schroder J., Napp A., Almalla M., Becker M., Altiok E. Use of two-dimensional speckle tracking echocardiography to predict cardiac events: comparison of patients with acute myocardial infarction and chronic coronary artery disease. *Clin. Cardiol.* 2018; 41 (1): 111–118. <https://doi.org/10.1002/clc.22860>
 54. Shi J., Pan C., Kong D., Cheng L., Shu X. Left ventricular longitudinal and circumferential layer-specific myocardial strains and their determinants in healthy subjects. *Echocardiography*. 2016; 33 (4): 510–518. <https://doi.org/10.1111/echo.13132>
 55. Sun M., Dong Y., Wang Y., Li G., Huang D. Assessment of the left ventricular function in patients with uremia using layer-specific 2-dimensional speckle tracking echocardiography. *Medicine (Baltimore)*. 2019; 98 (9): e14656. <https://doi.org/10.1097/md.00000000000014656>
 56. Biering-Sorensen T., Biering-Sorensen S.R., Olsen F.J., Sengelov M., Jorgensen P.G., Mogelvang R., Shah A.M., Jensen J.S. 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 (3): e005521. <https://doi.org/10.1161/circimaging.116.005521>
 57. Stankovic I., Putnikovic B., Cvjetan R., Milicevic P., Panic M., Kalezic-Radmili T., Mandaric T., Vidakovic R., Cvorovic V., Neskovic A.N. Visual assessment vs. strain imaging for the detection of critical stenosis of the left anterior descending coronary artery in patients without a history of myocardial infarction. *Eur. Heart J. Cardiovasc. Imaging*. 2015; 16 (4): 402–409. <https://doi.org/10.1093/ehjci/jeu206>
 58. Gozdzik A., Letachowicz K., Grajek B.B., Plonek T., Obremaska M., Jasinski M., Gozdzik W. Application of strain and other echocardiographic parameters in the evaluation of early and long-term clinical outcomes after cardiac surgery revascularization. *BMC Cardiovasc Disord.* 2019; 19 (1): 189. <https://doi.org/10.1186/s12872-019-1162-8>
 59. Park S.J., Park J.H., Lee H.S., Kim M.S., Park Y.K., Park Y., Kim Y.J., Lee J.H., Choi S.W., Jeong J.O., Kwon I.S., Seong I.W. Impaired RV global longitudinal strain is associated with poor long-term clinical outcomes in patients with acute inferior STEMI. *JACC Cardiovasc. Imaging*. 2015; 8 (2): 161–169. <https://doi.org/10.1016/j.jcmg.2014.10.011>
 60. Garcia-Martín A., Moya-Mur J.L., Carbonell-San Roman S.A., García-Lledo A., Navas-Tejedor P., Muriel A., Rodriguez-Munoz D., Casas-Rojo E., Jimenez-Nacher J.J., Fernandez-Golfín C., Zamorano J.L. Four chamber right ventricular longitudinal strain versus right free wall longitudinal strain. Prognostic value in patients with left heart disease. *Cardiol. J.* 2016; 23 (2): 189–194. <https://doi.org/10.5603/cj.a2015.0079>
 61. Xie M.Y., Lv Q., Wang J., Yin J.B. Assessment of myocardial segmental function with coronary artery stenosis in multi-vessel coronary disease patients with normal wall motion. *Eur. Rev. Med. Pharmacol. Sci.* 2016; 20 (8): 1582–1589. www.europeanreview.org/article/10679
 62. Yagmur J., Acikgoz N., Cansel M., Ermis N., Karakus Y., Kurtoglu E. Assessment of the left ventricular systolic function in cardiac syndrome X using speckle tracking echocardiography. *Anatol. J. Cardiol.* 2016; 16 (6): 419–423. <https://doi.org/10.5152/anatoljcardiol.2015.6388>
 63. Huttin O., Coiro S., Selton-Suty C., Juilliere Y., Donal E., Magne J., Sadoul N., Zannad F., Rossignol P., Girerd N. Prediction of left ventricular remodeling after a myocardial infarction: role of myocardial deformation: a systematic review and meta-analysis. *PLoS One*. 2016; 11 (12): e0168349. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0168349>

64. Hubbard R.T., Arciniegas Calle M.C., Barros-Gomes S., Kukuzke J.A., Pellikka P.A., Gulati R., Villarraga H.R. 2-Dimensional speckle tracking echocardiography predicts severe coronary artery disease in women with normal left ventricular function: a case-control study. *BMC Cardiovasc. Disord.* 2017; 17 (1): 231. <https://doi.org/10.1186/s12872-017-0656-5>
65. Mele D., Trevisan F., D'Andrea A., Luisi G.A., Smarrazzo V., Pestelli G., Flamigni F., Ferrari R. Speckle tracking echocardiography in non-ST-segment elevation acute coronary syndromes. *Curr. Probl. Cardiol.* 2021; 46 (3): 100418. <https://doi.org/10.1016/j.cpcardiol.2019.03.007>
66. Liu K., Wang Y., Hao Q., Li G., Chen P., Li D. Evaluation of myocardial viability in patients with acute myocardial infarction: layer-specific analysis of 2-dimensional speckle tracking echocardiography. *Medicine (Baltimore)*. 2019; 98 (3): e13959. <https://doi.org/10.1097/md.00000000000013959>
67. Luis S.A., Yamada A., Khandheria B.K., Speranza V., Benjamin A., Ischenko M., Platts D.G., Hamilton-Craig C.R., Haseler L., Burstow D., Chan J. Use of three-dimensional speckle-tracking echocardiography for quantitative assessment of global left ventricular function: a comparative study to three-dimensional echocardiography. *J. Am. Soc. Echocardiogr.* 2014; 27 (3): 285–291. <https://doi.org/10.1016/j.echo.2013.11.002>
68. Radwan H., Hussein E. Value of global longitudinal strain by two-dimensional speckle tracking echocardiography in predicting coronary artery disease severity. *Egypt. Heart J.* 2017; 69 (2): 95–101. <https://doi.org/10.1016/j.ehj.2016.08.001>
69. Liu C., Li J., Ren M., Wang Z.Z., Li Z.Y., Gao F., Tian J.W. Multilayer longitudinal strain at rest may help to predict significant stenosis of the left anterior descending coronary artery in patients with suspected non-ST-elevation acute coronary syndrome. *Int. J. Cardiovasc. Imaging.* 2016; 32 (12): 1675–1685. <https://doi.org/10.1007/s10554-016-0959-0>
70. Cai Z., Dai J., Wu D., Qiu J., Ma J., Li G., Zhu W., Lei H., Huang W., Zhang H., Xu L. The value of 3-dimensional longitudinal strain in the evaluation of complex coronary lesions in non-ST-segment elevation acute coronary syndrome patient. *Medicine (Baltimore)*. 2016; 95 (39): e4667. <https://doi.org/10.1097/md.0000000000004667>
71. Nishi T., Funabashi N., Ozawa K., Takahara M., Fujimoto Y., Kamata T., Kobayashi Y. Resting multilayer 2D speckle-tracking transthoracic echocardiography for the detection of clinically stable myocardial ischemic segments confirmed by invasive fractional flow reserve. Part 1: vessel-by-vessel analysis. *Int. J. Cardiol.* 2016; 218: 324–332. <https://doi.org/10.1016/j.ijcard.2016.05.016>
72. Rumbinaite E., Zaliaduonyte-Peksiene D., Lapinskas T., Zvirblyte R., Karuzas A., Jonauskiene I., Viezelis M., Ceponiene I., Gustiene O., Slapikas R., Vaskelyte J.J. Early and late diastolic strain rate vs global longitudinal strain at rest and during dobutamine stress for the assessment of significant coronary artery stenosis in patients with a moderate and high probability of coronary artery disease. *Echocardiography.* 2016; 33 (10): 1512–1522. <https://doi.org/10.1111/echo.13282>
73. Liou K., Negishi K., Ho S., Russell E.A., Cranney G., Ooi S.Y. Detection of obstructive coronary artery disease using peak systolic global longitudinal strain derived by two-dimensional speckle-tracking: a systematic review and meta-analysis. *J. Am. Soc. Echocardiogr.* 2016; 29 (8): 724–735. <https://doi.org/10.1016/j.echo.2016.03.002>
74. Mahjoob M.P., Alipour Parsa S., Mazarei A., Safi M., Khaheshi I., Esmaeili S. Rest 2D speckle tracking echocardiography may be a sensitive but nonspecific test for detection of significant coronary artery disease. *Acta Biomed.* 2018; 88 (4): 457–461. <https://doi.org/10.23750/abm.v88i4.5445>
75. Hagemann C.E., Hoffmann S., Olsen F.J., Jorgensen P.G., Fritz-Hansen T., Jensen J.S., Biering-Sorensen T. Layer-specific global longitudinal strain reveals impaired cardiac function in patients with reversible ischemia. *Echocardiography.* 2018; 35 (5): 632–642. <https://doi.org/10.1111/echo.13830>
76. Tarascio M., Leo L.A., Klersy C., Murzilli R., Moccetti T., Faletta F.F. Speckle-tracking layer-specific analysis of myocardial deformation and evaluation of scar transmural in chronic ischemic heart disease. *J. Am. Soc. Echocardiogr.* 2017; 30 (7): 667–675. <https://doi.org/10.1016/j.echo.2017.03.015>
77. Lassen M.C.H., Skaarup K.G., Iversen A.Z., Jorgensen P.G., Olsen F.J., Galatius S., Biering-Sorensen T. Ratio of transmitral early filling velocity to early diastolic strain rate as a predictor of cardiovascular morbidity and mortality following acute coronary syndrome. *Am. J. Cardiol.* 2019; 123 (11): 1776–1782. <https://doi.org/10.1016/j.amjcard.2019.03.004>
78. Kowalczyk E., Kasprzak J.D., Wejner-Mik P., Wdowiak-Okrojek K., Lipiec P. Diagnostic utility of two-dimensional speckle tracking echocardiography to identify ischemic etiology of left ventricular systolic dysfunction. *Echocardiography.* 2019; 36 (4): 702–706. <https://doi.org/10.1111/echo.14312>
79. Favot M., Courage C., Ehrman R., Khait L., Levy P. Strain echocardiography in acute cardiovascular diseases. *West. J. Emerg Med.* 2016; 17 (1): 54–60. <https://doi.org/10.5811/westjem.2015.12.28521>
80. Brainin P., Haahr-Pedersen S., Sengelov M., Olsen F.J., Fritz-Hansen T., Jensen J.S., Biering-Sorensen T. Presence of post-systolic shortening is an independent predictor of heart failure in patients following ST-segment elevation myocardial infarction. *Int. J. Cardiovasc. Imaging.* 2018; 34 (5): 751–760. <https://doi.org/10.1007/s10554-017-1288-7>
81. Rostamzadeh A., Shojaeifard M., Rezaei Y., Dehghan K. Diagnostic accuracy of myocardial deformation indices for detecting high risk coronary artery disease in patients without regional wall motion abnormality. *Int. J. Clin. Exp. Med.* 2015; 8 (6): 9412–9420.
82. Skaarup K.G., Iversen A., Jorgensen P.G., Olsen F.J., Grove G.L., Jensen J.S., Biering-Sorensen T. Association between layer-specific

- global longitudinal strain and adverse outcomes following acute coronary syndrome. *Eur. Heart J. Cardiovasc. Imaging*. 2018; 19 (12): 1334–1342. <https://doi.org/10.1093/ehjci/jeu004>
83. Wang P., Liu Y., Ren L. Evaluation of left ventricular function after percutaneous recanalization of chronic coronary occlusions: the role of two-dimensional speckle tracking echocardiography. *Herz*. 2019; 44 (2): 170–174. <https://doi.org/10.1007/s00059-017-4663-1>
 84. Karlsen S., Dahlslett T., Grenne B., Sjøli B., Smiseth O., Edvardsen T., Brunvand H. Global longitudinal strain is a more reproducible measure of left ventricular function than ejection fraction regardless of echocardiographic training. *Cardiovasc. Ultrasound*. 2019; 17 (1): 18. <https://doi.org/10.1186/s12947-019-0168-9>
 85. Biering-Sorensen T., Olsen F.J., Storm K., Fritz-Hansen T., Olsen N.T., Jons C., Vinther M., Sogaard P., Risum N. Prognostic value of tissue Doppler imaging for predicting ventricular arrhythmias and cardiovascular mortality in ischaemic cardiomyopathy. *Eur. Heart J. Cardiovasc. Imaging*. 2016; 17 (7): 722–731. <https://doi.org/10.1093/ehjci/jew066>
 86. Cha M.J., Kim H.S., Kim S.H., 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): e0186437. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0174160>
 87. Atici A., Barman H.A., Durmaz E., Demir K., Cakmak R., Tugrul S., Elitok A., Onur I., Sahin I., Oncul A. Predictive value of global and territorial longitudinal strain imaging in detecting significant coronary artery disease in patients with myocardial infarction without persistent ST-segment elevation. *Echocardiography*. 2019; 36 (3): 512–520. <https://doi.org/10.1111/echo.14275>
 88. Milewska A., Minczykowski A., Krauze T., Piskorski J., Heathers J., Szczepanik A., Banaszak A., Guzik P., Wykretowicz A. Prognosis after acute coronary syndrome in relation with ventricular-arterial coupling and left ventricular strain. *Int. J. Cardiol*. 2016; 220: 343–348. <https://doi.org/10.1016/j.ijcard.2016.06.173>
 89. Smiseth O.A., Torp H., Opdahl A., Haugaa K.H., Urheim S. Myocardial strain imaging: how useful is it in clinical decision making? *Eur. Heart J*. 2016; 37 (15): 1196–1207. <https://doi.org/10.1093/eurheartj/ehv529>
 90. Eitel I., Stiermaier T., Lange T., Rommel K.P., Koschalka A., Kowallick J.T., Lotz J., Kutty S., Gutberlet M., Hasenfub G., Thiele H., Schuster A. Cardiac magnetic resonance myocardial feature tracking for optimized prediction of cardiovascular events following myocardial infarction. *JACC Cardiovasc. Imaging*. 2018; 11 (10): 1433–1444. <https://doi.org/10.1016/j.jcmg.2017.11.034>
 91. Bendary A., Tawfeek W., Mahros M., Salem M. The predictive value of global longitudinal strain on clinical outcome in patients with ST-segment elevation myocardial infarction and preserved systolic function. *Echocardiography*. 2018; 35 (7): 915–921. <https://doi.org/10.1111/echo.13866>
 92. Dohi K., Sugiura E., Ito M. Utility of strain-echocardiography in current clinical practice. *J. Echocardiogr*. 2016; 14 (2): 61–70. <https://doi.org/10.1007/s12574-016-0282-8>
 93. Sengelov M., Jorgensen P.G., Jensen J.S., Bruun N.E., Olsen F.J., Fritz-Hansen T., Nochioka K., Biering-Sorensen T. Global longitudinal strain is a superior predictor of all-cause mortality in heart failure with reduced ejection fraction. *JACC Cardiovasc. Imaging*. 2015; 8 (12): 1351–1359. <https://doi.org/10.1016/j.jcmg.2015.07.013>
 94. Romano S., Mansour I.N., Kansal M., Gheith H., Dowdy Z., Dickens C.A., Buto-Colletti C., Chae J.M., Saleh H.H., Stamos T.D. Left ventricular global longitudinal strain predicts heart failure readmission in acute decompensated heart failure. *Cardiovasc. Ultrasound*. 2017; 15 (1): 6. <https://doi.org/10.1186/s12947-017-0098-3>
 95. Huttin O., Marie P.Y., Benichou M., Bozec E., Lemoine S., Mandry D., Juilliere Y., Sadoul N., Micard E., Duarte K., Beaumont M., Rossignol P., Girerd N., Selton-Suty C. Temporal deformation pattern in acute and late phases of ST-elevation myocardial infarction: incremental value of longitudinal post-systolic strain to assess myocardial viability. *Clin. Res. Cardiol*. 2016; 105 (10): 815–826. <https://doi.org/10.1007/s00392-016-0989-6>
 96. Fernandez M.C., Roubin S.R., Abu-Assi E., Fernandez S.M., Dascenzo F., Henriques J.P.S., Saucedo J., Blanco P.F., Sanchez F.C., Sole A.A., Pousa I.M., Queija B.C., Paz R.C., Rodriguez E.L., Romo A.I., BleeMACS – CardioCHUVI/ARRITXACA – RENAMI, P4623. Impact of left ventricular ejection fraction in ischemic and bleeding risk after an acute coronary syndrome. *Eur. Heart J*. 2019; 40 (1): e4623. <https://doi.org/10.1093/eurheartj/ehz745.1005>
 97. Shiino K., Yamada A., Ischenko M., Khandheria B.K., Hudaverdi M., Speranza V., Harten M., Benjamin A., Hamilton-Craig C.R., Platts D.G., Burstow D.J., Scalia G.M., Chan J. Intervendor consistency and reproducibility of left ventricular 2D global and regional strain with two different high-end ultrasound systems. *Eur. Heart J. Cardiovasc. Imaging*. 2017; 18 (6): 707–716. <https://doi.org/10.1093/ehjci/jew120>
 98. Negishi T., Negishi K., Thavendiranathan P., Cho G.Y., Popescu B.A., Vinereanu D., Kurosawa K., Penicka M., Marwick T.H.; SUCCOUR Investigators. Effect of experience and training on the concordance and precision of strain measurements. *JACC Cardiovasc. Imaging*. 2017; 10 (5): 518–522. <https://doi.org/10.1016/j.jcmg.2016.06.012>
 99. Krittanawong C., Zhang H., Wang Z., Aydar M., Kitai T. Artificial intelligence in precision cardiovascular medicine. *J. Am. Coll. Cardiol*. 2017; 69 (21): 2657–2664. <https://doi.org/10.1016/j.jacc.2017.03.571>

Speckle tracking echocardiography in left ventricle systolic-diastolic function assessment in case of coronary heart disease, taking into account structural myocardial characteristics

D.A. Shvec¹, S.V. Povetkin²

¹ Orel Clinical Regional Hospital, Orel

² Kursk State Medical University, Kursk

D.A. Shvec – M.D., Ph.D., Department of Cardiology, Orel Clinical Regional Hospital, Orel.

<https://orcid.org/0000-0002-1551-9767>

S.V. Povetkin – M.D., Ph.D., Professor, Director, Division of Clinical Pharmacology, Kursk State Medical University, Kursk. <https://orcid.org/0000-0002-1302-9326>

Correspondence to Dr. Denis A. Shvec. E-mail: denpost-card@mail.ru

The review considers the diagnostic value of speckle tracking echocardiography for assessing the left ventricle systolic-diastolic function in ischemic heart disease, taking into account structural myocardial characteristics. Spiral structure of the myocardium and interaction of multidirectional fibers complicate the task of assessing the regional and global contractility of the left ventricle. Use of the speckle tracking echocardiography makes it possible to measure the cardiac strain in the longitudinal, circumferential, and radial directions. Speckle tracking echocardiography clinical use in case of the acute myocardial infarction and unstable angina is discussed. Speckle tracking echocardiography allows detection of the compensatory increase in longitudinal or circumferential strain in cases of left ventricle regional contractility disorders. Assessment of the left ventricular global strain, twist, and untwist provides prognostic information in patients with acute myocardial infarction and unstable angina. Despite the advantages, there are obstacles that make it difficult to use this method in clinical practice. The main ones are the quality of the ultrasound images and the absence of generally accepted normative strain values.

Key words: speckle tracking echocardiography, longitudinal strain, circumferential strain, radial strain, left ventricle, coronary heart disease.

Citation: Shvec D.A., Povetkin S.V. Speckle tracking echocardiography in left ventricle systolic-diastolic function assessment in case of coronary heart disease, taking into account structural myocardial characteristics. *Ultrasound and Functional Diagnostics*. 2021; 2: 19–38. <https://doi.org/10.24835/1607-0771-2021-2-19-38> (in Russian)