

Возможности speckle tracking-эхокардиографии для диагностики дисфункции миокарда

О.В. Гриценко^{✉1}, Г.А. Чумакова^{2,3}, Е.В. Трубина¹

¹КГБУЗ «Алтайский краевой кардиологический диспансер», Барнаул, Россия;

²ФГБОУ ВО «Алтайский государственный медицинский университет» Минздрава России, Барнаул, Россия;

³ФГБНУ «Научно-исследовательский институт комплексных проблем сердечно-сосудистых заболеваний», Кемерово, Россия

Аннотация

Несмотря на несомненные успехи в диагностике сердечной недостаточности с помощью эхокардиографии, остается недостаточно изученным вопрос, касающийся выявления диастолической дисфункции левого желудочка сердца на ранних стадиях. В статье рассмотрен неинвазивный ультразвуковой метод оценки функции миокарда, позволяющий на ранних стадиях выявить диастолическую дисфункцию левого желудочка вследствие фиброза миокарда.

Ключевые слова: фиброз миокарда, диастолическая дисфункция

Для цитирования: Гриценко О.В., Чумакова Г.А., Трубина Е.В. Возможности speckle tracking-эхокардиографии для диагностики дисфункции миокарда. CardioSomатика. 2021; 12 (1): 5–10. DOI: 10.26442/22217185.2021.1.200756

REVIEW

Features of speckle tracking echocardiography for diagnosis of myocardial dysfunction

Olesia V. Gritsenko^{✉1}, Galina A. Chumakova^{2,3}, Elena V. Trubina¹

¹Altai Regional Cardiology Dispensary, Barnaul, Russia;

²Altai State Medical University, Barnaul, Russia;

³Research Institute for Complex Issues of Cardiovascular Diseases, Kemerovo, Russia

Abstract

Despite the undoubted success in the diagnosis of heart failure using echocardiography, the issue of detecting diastolic dysfunction of the left ventricle of the heart in the early stages remains insufficiently studied. The article describes a non-invasive ultrasound method for evaluating myocardial function, which allows early detection of left ventricle diastolic dysfunction due to myocardial fibrosis.

Keywords: myocardial fibrosis, diastolic dysfunction

For citation: Gritsenko OV, Chumakova GA, Trubina EV. Features of speckle tracking echocardiography for diagnosis of myocardial dysfunction. CardioSomatics. 2021; 12 (1): 5–10. DOI: 10.26442/22217185.2021.1.200756

Трансторакальная эхокардиография (ЭхоКГ) является одним из основных методов диагностики сердечной недостаточности (СН), позволяющей оценивать систолическую и диастолическую функцию левого (ЛЖ) и правого желудочка [1]. Основным показателем, который используется для оценки функции ЛЖ, является фракция выброса (ФВ). Однако на точность оценки этого показателя влияют

такие факторы, как митральная регургитация, преднагрузка ЛЖ и др. [2]. На протяжении более чем 30 лет неинвазивные ультразвуковые (УЗ) методы оценки функции миокарда основывались на использовании серой шкалы ЭхоКГ и доплеровского картирования скоростных показателей внутрисердечного кровотока. За счет технологического прогресса обработки УЗ-сигнала можно

Информация об авторах / Information about the authors

✉ **Гриценко Олеся Валерьевна** – канд. мед. наук, врач-кардиолог общепольничного отделения КГБУЗ АККД. E-mail: qritzenko.olesia@mail.ru; ORCID: 0000-0001-5937-4128

✉ **Olesia V. Gritsenko** – Cand. Sci. (Med.), Altai Regional Cardiology Dispensary. E-mail: qritzenko.olesia@mail.ru; ORCID: 0000-0001-5937-4128

Чумакова Галина Александровна – д-р мед. наук, проф., проф. каф. терапии и общей врачебной практики ФГБОУ ВО АГМУ, вед. науч. сотр. отд. мультифокального атеросклероза ФГБНУ НИИ КПССЗ. ORCID: 0000-0002-2810-6531

Galina A. Chumakova – D. Sci. (Med.), Prof., Altai State Medical University, Research Institute for Complex Issues of Cardiovascular Diseases. ORCID: 0000-0002-2810-6531

Трубина Елена Викторовна – канд. мед. наук, зав. отд-нием функциональной диагностики КГБУЗ АККД. ORCID: 0000-0002-4655-2068

Elena V. Trubina – Cand. Sci. (Med.), Altai Regional Cardiology Dispensary. ORCID: 0000-0002-4655-2068

измерять такие параметры сокращения миокарда, как деформация, ротация, скручивание и раскручивание, которые обеспечивают оценку глобальной и региональной функции ЛЖ и правого желудочка, а также высокую точность диагностики [3]. Концепция тканевого доплера разработана К. Isaaz и соавт. в 1989 г. В 1998 г. описаны понятие и методы расчета в реальном времени скорости деформации миокарда в продольной проекции [3], а W. Harvey и R. Lower описали процесс скручивания сердца [4]. Внедрение таких методов в практику стало возможным после того, как описали фундаментальные особенности механики сердца.

Механика сокращения сердца

О том, что миокард при сокращении совершает скручивающие движения, известно давно, но оценить это явление известными неинвазивными методами не представлялось возможным. В процессе изучения данного механизма стало понятно, что мышечные волокна миокарда различаются по длине, толщине и собраны в пучки, располагающиеся в 3 направлениях. На макроскопическом уровне можно выделить 3 различных слоя миокарда: поверхностный, средний и внутренний. В поверхностном слое мышечные волокна имеют наклонное направление от основания к верхушке относительно вертикальной оси. Мышечные волокна на грудно-реберной поверхности сердца расположены справа налево, тогда как на диафрагмальной – слева направо, при этом они покрывают миокард желудочков в форме спиралей. В момент достижения мышечными волокнами верхушки сердца они проникают в так называемую субэндокардиальную зону. Мышечные волокна среднего слоя имеют преимущественно поперечное направление. Волокна глубокого слоя миокарда ЛЖ имеют ход, противоположный мышечным пучкам поверхностного слоя. Они поднимаются от верхушки к основанию, формируя папиллярно-трабекулярный аппарат и субэндокардиальную зону ЛЖ (рис. 1). Особенности расположения миокардиальных волокон в ЛЖ приводят к тому, что у здорового человека во время сокращения он совершает движение в 3 направлениях: радиально, циркулярно и продольно [5, 6].

Такое спиралевидное расположение мышечных волокон генерирует вращательные движения по часовой стрелке на уровне митрального клапана в базальном отделе и против часовой стрелки в апикальном отделе. Скручивание миокарда играет основную роль в механической эффективности сердца, в результате чего ФВ составляет 60% при сокращении волокна только на 15% [7]. Во время сокращения кинетическая энергия накапливается в сердечных белках, таких как титин. Эта накопленная потенциальная энергия впоследствии высвобождается во время раннего расслабления миокарда, тем самым способствуя быстрому рас-

кручиванию, создавая диастолическое наполнение. Таким образом, вращение ЛЖ обеспечивает ключевую механистическую связь между систолой и диастолой. Связь между систолическим скручиванием и диастолическим раскручиванием (механика скручивания ЛЖ) и их роль в развитии сердечно-сосудистых заболеваний (ССЗ) остаются не до конца понятными и являются областью активных научных исследований [8].

Оценка деформации миокарда (strain)

Целостная картина механизма сокращения и расслабления определенных зон миокарда сформирована только в последние годы. В разработке новых технологий значимым моментом стала публикация свода рекомендаций по использованию количественных методов анализа контрактильности ЛЖ, предложенных в 2011 г. Американским эхокардиографическим обществом и Европейской ассоциацией эхокардиографии [9]. Применение пользующегося в последнее время значительной популярностью ЭхоКГ-метода ЭхоКГ speckle tracking дает возможность провести всесторонний анализ деформации миокарда, направленный на обеспечение возможности разноразмерной оценки показателей контрактильности сердечной мышцы [10]. Кроме того, данная методика предположительно позволяет проанализировать функционирование ЛЖ с точки зрения выполнения диастолической функции и оценить региональную и суммарную функции миокарда в количественных показателях [11, 12].

Основой разработки ЭхоКГ speckle tracking послужили данные, полученные в результате анализа динамики УЗ-изображения миокарда (серошкального) в В-модальном режиме [13]. На протяжении цикла работы сердца от кадра к кадру в 3 измерениях осуществляется мониторинг серошкальных УЗ-пятен [11, 13]. Сокращение саркомеров при сжатии левого и правого желудочка приводит к деформированию волокон миокарда, проявляющемуся в продольном и циркулярном укорочении и поперечном утолщении, что отображено на рис. 2 и 3. Значение данных процессов в случае удлинения объекта является положительным, в случае сокращения – отрицательным. Изучение циркулярной деформации проводится по короткой оси ЛЖ, продольной – из верхушечного доступа, а радиальной – из обеих позиций. При оценке систолической деформации в каждом из 17 сегментов ЛЖ она расценивается как локальная, в каждом из 3 верхушечных сечений – как средняя, а с учетом всех изученных сегментов – как глобальная [5].

Одним из надежных, хорошо проверенных и воспроизводимых методов измерения продольной функции ЛЖ является метод измерения глобальной продольной деформации (GLPS) с помощью speckle tracking-ЭхоКГ [15]. Эта деформация оценивается

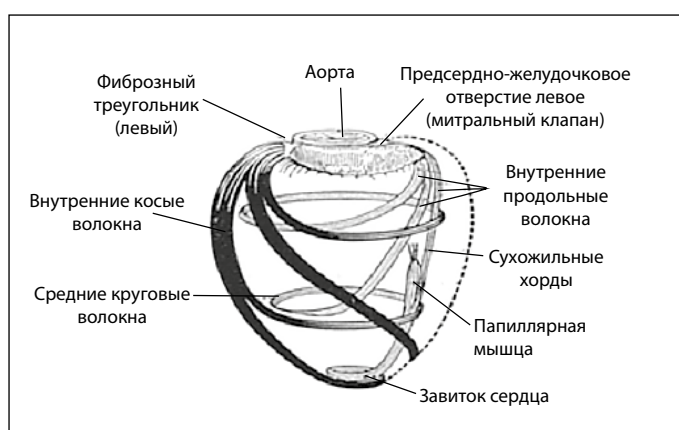


Рис. 1. Предсердно-желудочковое отверстие левое (митральный клапан).

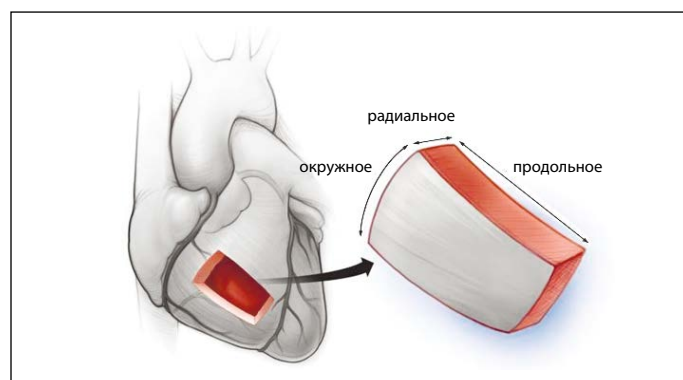


Рис. 2. Деформация миокарда происходит в продольном (от основания до верхушки), радиальном (или «поперечном») и окружном измерении (окружающем короткую ось сердца) [14].

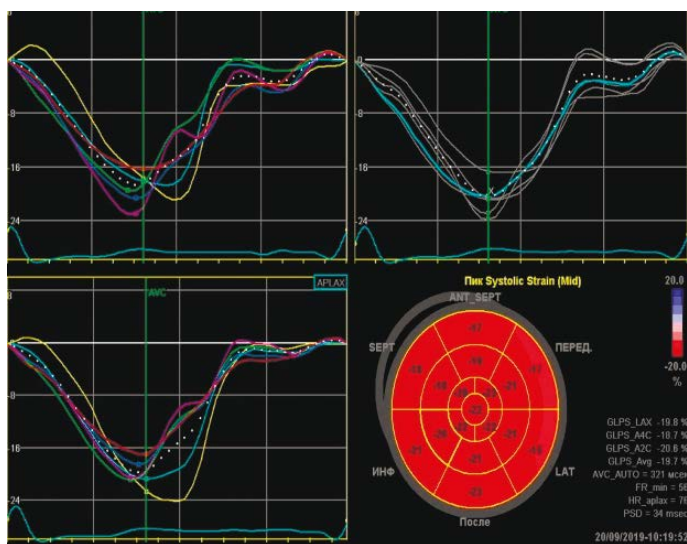
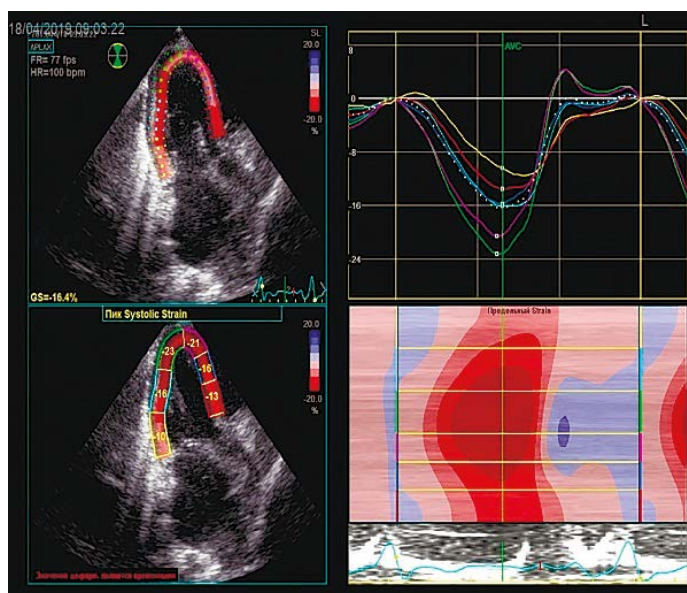


Рис. 3. Speckle tracking-ЭхоКГ: определение глобальной продольной деформации.

посегментарно, а также в субэндокардиальном, радиальном, эпикардиальном слое миокарда [16]. В ряде исследований показано, что GLPS является маркером раннего развития фиброза миокарда. Так, в исследовании, которое включало 86 пациентов с СН с сохраненной ФВ, показано, что GLPS уменьшался у пациентов СН в сравнении с контрольной группой без СН [17].

Ротация, скручивание (twist) и раскручивание ЛЖ

Speckle tracking-ЭхоКГ обеспечивает неинвазивную альтернативу сономикротомии и меченой магнитно-резонансной томографии для оценки сложного сократительного движения ЛЖ, продиктованного спиральной структурой волокон миокарда. Субэндокард состоит из волокон миокарда, ориентированных в правую спираль, постепенно превращаясь в левую спираль в субэпикарде [18]. Субэндокардиальные волокна – почти продольно ориентированные (угол приблизительно 80° по отношению к направлению по окружности сердца); срединные волокна миокарда параллельны окружному направлению (приблизительно при 0°), а субэпикардиальные волокна – при -60°. Эта желудочковая структура обеспечивает вращательное, или «скручивающее» движение во время систолы (рис. 4, 5) [8, 18].



Рис. 4. Модель структуры миофибрилы и механики кручения [14].

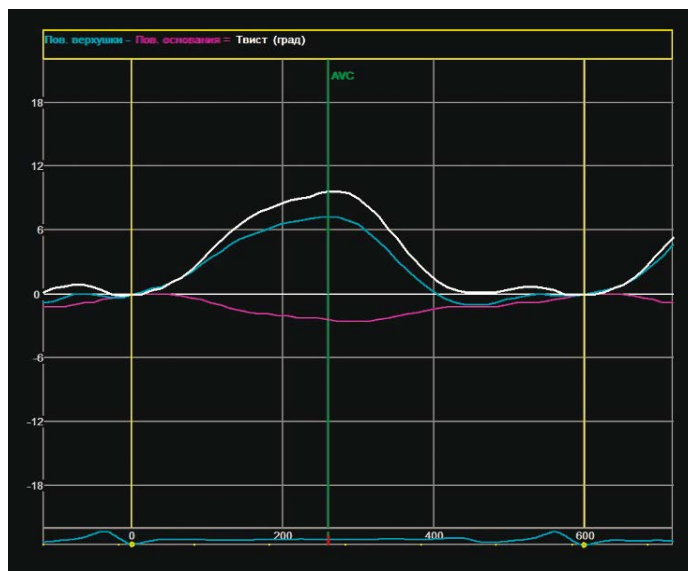


Рис. 5. Speckle tracking-ЭхоКГ: скручивание миокарда.

Во время изоволюмического сокращения верхушка кратковременно вращается в направлении по часовой стрелке, но затем быстро поворачивается в направлении против часовой стрелки во время выброса, если смотреть с верхушки. Тем временем основание вращается по часовой стрелке вокруг длинной оси ЛЖ. Это вращательное движение ЛЖ вызывает утолщение и продольное укорочение миокарда, которое вызывает выброс из ЛЖ. Раскручивание, следующее за скручиванием, происходит во время диастолы и диастолического всасывания, что облегчает раннее наполнение ЛЖ. Большая часть раскручивания происходит во время изоволюмического расслабления и завершается во время ранней диастолы [14]. Нормальное значение для скручивания у здоровых добровольцев составляет $7,7 \pm 3,5^\circ$. Эти значения увеличиваются с возрастом, вероятно, из-за меньшего сопротивления апикальной ротации [18]. Таким образом, поворот ЛЖ больше у здоровых людей старше 60 лет по сравнению с людьми младше 40 лет ($10,8 \pm 4,9^\circ$ против $6,7 \pm 2,9^\circ$ соответственно) [14]. Скручивание и раскручивание ЛЖ оказывают большое влияние на систолическую и диастолическую механику ЛЖ и могут позволить выявить систолические и диастолические нарушения [14].

Клиническое применение speckle tracking-ЭхоКГ для диагностики дисфункции ЛЖ

Фиброз миокарда является патологическим состоянием, связанным с ремоделированием внеклеточного матрикса, что может привести к повышению жесткости миокарда и усугублению систолической и диастолической дисфункции (ДД) ЛЖ [19]. Однако наиболее распространенная ЭхоКГ-мера функции миокарда, ФВ ЛЖ, имеет важные ограничения. Измерение ФВ ЛЖ ограничено субъективной интерпретацией, которая снижает точность и воспроизводимость [14]. Считается, что у пациентов с СН и сохраненной ФВ систолическая функция ЛЖ сохранена. При помощи рутинного ЭхоКГ-исследования нельзя детально оценить сократительную способность миокарда, поскольку ФВ отвечает только за изменения так называемых объемных параметров. Основным преимуществом speckle tracking-ЭхоКГ является количественная оценка деформации миокарда во всех имеющихся сегментах. За счет этого можно выявить начальные нарушения систолической функции ЛЖ. Ко всему прочему, выявлена корреляционная зависимость между ФВ ЛЖ и показателями продольной деформации миокарда. Таким образом, с целью оценки систолической функции ЛЖ может быть использована миокардиальная деформация [1]. Оценка GLPS с помощью speckle tracking-ЭхоКГ стала клинически возможной альтернативой измерения ФВ для изучения функции миокарда. Данные, собранные за последнее десятилетие, показали, что GLPS более чувствителен к дисфункции ЛЖ, чем традиционное определение ФВ, и предоставляет дополнительную прогностическую информацию. Также определение данного параметра может быть использовано для выявления бессимптомного нарушения функции ЛЖ, вызванного различными этиологическими факторами [20]. В ряде исследований получены убедительные доказательства ценности GLPS, которая превосходит прогностическую ценность по сравнению с определением ФВ для прогнозирования неблагоприятных сердечно-сосудистых событий [15, 21]. Определение нормальных значений GLPS, глобальной радиальной и глобальной циркулярной деформации имеет большое значение для клинического применения. Проведен метаанализ 24 исследований (2597 пациентов), где изучались нормальные значения деформации. Нормальные значения GLPS варьировали от -15,9 до -22,1%, средняя -19,7%; циркулярной деформации – от -20,9 до -27,8%, среднее значение -23,3%; радиальная деформация – от 35,1 до 59,0%, среднее значение -47,3% [22, 23]. В одном из исследований показано, что у больных с СН как с сохраненной, так и со сниженной ФВ ЛЖ имеются корреляционные связи между GLPS и уровнем сывороточного мозгового натрийуретического пептида. Также показано, что GLPS снижается у больных с диастолической СН, а по мере прогрессирования СН наблюдается еще и снижение радиальной и циркулярной деформации ЛЖ [24]. Снижение GLPS отражает прогрессирование заболевания, связано с худшими исходами и является предиктором повторной госпитализации и сердечной смерти [25]. Нарушение GLPS предсказывает смертность у пациентов с СН более точно, чем ФВ ЛЖ [26]. Нарушение деформации миокарда может быть выявлено на ранних стадиях нарушений систолической функции ЛЖ, даже если ФВ ЛЖ измеряется в пределах нормы при 2D-ЭхоКГ. Speckle tracking-ЭхоКГ позволяет оценить субклиническое повреждение миокарда с помощью параметров деформации. Известно, что субклиническая дисфункция ЛЖ может встречаться у лиц с ожирением [27–30]. Однако в другом исследовании показано, что не только у лиц с ожирением встречается субклиническая дисфункция миокарда ЛЖ, но и у лиц с избыточной массой тела, причем по мере увеличения индекса массы тела функция миокарда ухудшалась [27].

В настоящее время идет поиск методов ЭхоКГ для выявления ДД на ранних стадиях. В одном из исследований проводилась оценка систолической и диастолической функции ЛЖ у пациентов с СН с со-

храненной ФВ с использованием speckle tracking-ЭхоКГ-методики. Показано, что у больных с СН функциональных классов различной выраженности (от I до III), у которых при помощи использования двухмерного режима по методу Симпсона не выявлено снижения показателей сократимости миокарда ЛЖ, а именно ФВ, с помощью speckle tracking-ЭхоКГ зарегистрировано изменение (снижение) значений глобальной и посегментарной систолической деформации. По мере увеличения функционального класса СН отмечалось значимое снижение продольной систолической деформации, тогда как показатель ФВ ЛЖ оставался в пределах нормальных значений. Полученные результаты в данном исследовании соответствуют данным М. Sengeløv и соавт., свидетельствующим, что по сравнению с другими стандартными ЭхоКГ-параметрами глобальная и по сегментарная систолическая деформация обладают более высокой информативностью в оценке функционального состояния миокарда и диагностики нарушений на ранних стадиях СН и у пациентов с СН с сохраненной ФВ [1, 31].

Возможно, использование оценки диастолической функции с помощью применения таких показателей, как скручивание и раскручивание ЛЖ, даст возможность понять механизмы расслабления ЛЖ и нагнетания крови [4]. Ввиду того что при помощи ЭхоКГ может быть измерена скорость раскручивания, она может являться маркером диастолической функции ЛЖ или эффективности терапевтического лечения, направленного на ее коррекцию [4]. Исследователями доказано, что методы speckle tracking-ЭхоКГ и магнитно-резонансной томографии сердца для оценки механики скручивания ЛЖ являются сопоставимыми [32].

Уже при небольшой ДД показатели скручивания и раскручивания увеличиваются, а далее по мере прогрессирования ДД и увеличения давления наполнения ЛЖ эти показатели обычно снижаются [24]. Однако уточнение механизмов, приводящих к изменению показателей скручивания и раскручивания при прогрессировании ДД, является объектом предстоящих исследований [24]. На ранних стадиях ДД нарушается раскручивание миокарда, а нарушение скручивания ЛЖ ассоциируется с более поздними нарушениями функции ЛЖ [14].

Миокардиальная деформация может дать более точную информацию о функции миокарда, а также может быть использована для выявления ранних стадий ССЗ, мониторинга изменений миокарда при различных методах лечения, чтобы дифференцировать кардиомиопатии и прогнозировать прогноз некоторых ССЗ [33]. В настоящее время признается, что раннее выявление ССЗ может улучшить качество жизни пациентов и снизить как заболеваемость, так и смертность [34]. Недавние исследования доказали, что такой глобальный показатель, как ФВ, является лишь индикатором глобальной функции сердца и не может быть использован для определения региональной функции или выявления какой-либо дисфункции желудочков на самых ранних стадиях заболеваний [34]. Speckle tracking-ЭхоКГ ограничена ее зависимостью от качества ЭхоКГ-изображений, которые влияют на способность отслеживать рисунок спекл и границы эндокарда. Может происходить неадекватное отслеживание, потому что сложное трехмерное движение сердца вызывает неплоскостное движение, что затрудняет отслеживание спеклов от изображения к изображению. Кроме того, акустическое затенение и реверберация мешают по кадровому отслеживанию, что снижает точность измерения [14]. Таким образом, тонкая оценка механической функции сердца позволяет более точно определить состояние глобальной и региональной функций миокарда и выявить изменения, возникающие на ранних стадиях заболеваний.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interests. The authors declare no conflict of interest.

Вклад авторов. Все авторы подтверждают соответствие своего авторства, согласно международным критериям ICMJE.

Authors' contribution. All authors confirm the compliance of their authorship according to the international ICMJE criteria.

Источник финансирования. Авторы заявляют об отсутствии внешнего финансирования при проведении исследования.

Funding source. This study was not supported by any external sources of funding.

СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ

ДД – диастолическая дисфункция

ЛЖ – левый желудочек

СН – сердечная недостаточность

ССЗ – сердечно-сосудистые заболевания

УЗ – ультразвуковой

ФВ – фракция выброса

ЭхоКГ – эхокардиография

GLPS – глобальная продольная деформация

Литература/References

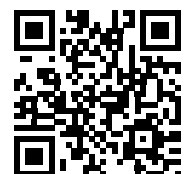
- Вдовенко Д.В., Либис Р.А. Показатели деформации миокарда и диастолическая функция левого желудочка у больных хронической сердечной недостаточностью с сохраненной фракцией выброса. Артериальная гипертензия. 2018; 24 (1): 74–80 [Vdovenko DV, Libis RA. The myocardial deformation and diastolic function of the left ventricle in patients with heart failure with preserved left ventricular ejection fraction. Arterial Hypertension. 2018; 24 (1): 74–80 (in Russian)]. DOI: 10.18705/1607-419X-2018-24-1-74-80
- Parthenakis F, Maragkoudakis S, Marketou M, et al. Myocardial inotropic reserve: An old twist that constitutes a reliable index in the modern era of heart failure. Hellenic J Cardiol 2016; 57 (5): 311–4. DOI: 10.1016/j.hjc.2016.11.027
- Какучая Т.Т. Тканевой доплер, деформация и скорость деформации миокарда в оценке функции миокарда – концептуальные технические основы и применение в клинике. Креативная кардиология. 2008; 1: 73–92 [Kakuchaya TT. Tissue Doppler, deformation and rate of myocardial deformation in the assessment of myocardial function-conceptual technical bases and application in the clinic. Creativcardiology. 2008; 1: 73–92 (in Russian)].
- Павлюкова Е.Н., Кужель Д.А., Матюшин Г.В., и др. Ротация, скручивание и раскручивание левого желудочка: физиологическая роль и значение в клинической практике. Рациональная фармакотерапия в кардиологии. 2015; 11 (1): 68–78 [Pavlyukova EN, Kuzhel DA, Matyushin GV, et al. Rotation, twisting and unwinding of the left ventricle: the physiological role and significance in clinical practice. Rational pharmacotherapy in cardiology. 2015; 11 (1): 68–78 (in Russian)]. DOI: 10.20996/1819-6446-2015-11-1-68-78
- Целуйко В.И., Киношенко К.Ю., Мищук Н.Е. Оценка деформации миокарда левого желудочка в клинической практике. Фармакотерапия. 2014; 9 (140): 52–6 [Tseluiko VI, Kinoshenko KJ, Mishchuk NE. Evaluation of the myocardial deformation of the left ventricle in clinical practice. Pharmacotherapy. 2014; 9 (140): 52–6 (in Russian)].
- Quintana RA, Bui LP, Moudgil R, et al. Speckle tracking Echocardiography in Cardio-Oncology and Beyond. Tex Heart Inst J 2020; 47 (2): 96–107. DOI: 10.14503/THIJ-18-6736
- Kauer F, Geleijnse ML, van Dalen BM. Role of left ventricular twist mechanics in cardiomyopathies, dance of the helices. World J Cardiol 2015; 7 (8): 476–82. DOI: 10.4330/wjc.v7.i8.476
- Stöhr EJ, Shave RE, Baggish AL, et al. Left ventricular twist mechanics in the context of normal physiology and cardiovascular disease: a review of studies using speckle tracking echocardiography. Am J Physiol Heart Circ Physiol 2016; 311 (3): H633–44. DOI: 10.1152/ajpheart.00104.2016
- Mor-Avi V, Lang RM, Badano LP, et al. Current and Evolving Echocardiographic Techniques for the Quantitative Evaluation of Cardiac Mechanics: ASE/EAE Consensus Statement on Methodology and Indications Endorsed by the Japanese Society of Echocardiography. J Am Soc Echocardiogr 2011; 24 (3): 277–313. DOI: 10.1093/ejehocardiography/21
- Abdouch MC, Alencar AM, Mathias Jr W, et al. Cardiac mechanics evaluated by speckle tracking echocardiography. Arq Bras Cardiol 2014; 102 (4): 403–12.
- Mondillo S, Galderisi M, Mele D, et al. Speckle tracking Echocardiography. A new technique for assessing myocardial function. J Ultrasound Med 2011; 30 (1): 71–83. DOI: 10.7863/jum.2011.30.1.71
- Faber L, Prinz C, Welge D, et al. Peak systolic longitudinal strain of the lateral left ventricular wall improves after septal ablation for symptomatic hypertrophic obstructive cardiomyopathy: a follow-up study using speckle tracking echocardiography. Int J Cardiovasc Imaging 2011; 27: 325–33. DOI: 10.1007/s10554-010-9678-0
- Алехин М.Н. Ультразвуковые методы оценки деформации миокарда и их клиническое значение. М.: Видар-М, 2012; с. 88 [Alekhin MN. Ultrasound methods of myocardium strain evaluation and their clinical significance. Moscow: Vindar-M, 2012; p. 88 (in Russian)].
- Duncan AE, Alfirevic A, Sessler DI, et al. Perioperative assessment of myocardial deformation. Anesth Analg 2014; 118 (3): 525–44. DOI: 10.1213/ANE.0000000000000088
- Kalam K, Otahal P, Marwick TH. Prognostic implications of global LV dysfunction: a systematic review and meta-analysis of global longitudinal strain and ejection fraction. Heart 2014; 100 (21): 1673–80. DOI: 10.1136/heartjnl-2014-305538
- Черных Н.Ю., Грознова О.С., Довгань М.И. Исследование кинетики миокарда в клинической практике: нормативные показатели деформации, ротации, скручивания. Рос. вестник перинатологии и педиатрии. 2016; 61 (4): 32–6 [Chernykh NY, Groznova OS, Dovgan MI. Investigation of myocardial kinetics in clinical practice: Reference values of deformity, rotation, and torsion. Russian Bulletin of Perinatology and Pediatrics. 2016; 61 (4): 32–6 (in Russian)]. DOI: 10.21508/1027-4065-2016-61-4-32-36
- Carluccio E, Biagioli P, Zuchi C, et al. Fibrosis assessment by integrated backscatter and its relationship with longitudinal deformation and diastolic function in heart failure with preserved ejection fraction. Int J Cardiovasc Imaging 2016; 32 (7): 1071–80. DOI: 10.1007/s10554-016-0881-5
- Mor-Avi V, Lang RM, Badano LP, et al. Current and evolving echocardiographic techniques for the quantitative evaluation of cardiac mechanics: ASE/EAE consensus statement on methodology and indications endorsed by the Japanese Society of Echocardiography. Eur J Echocardiogr 2011; 12: 167–205. DOI: 10.1016/j.echo.2011.01.015
- Zhang HJ, Wang H, Sun T, et al. Assessment of left ventricular twist mechanics by speckle tracking echocardiography reveals association between LV twist and myocardial fibrosis in patients with hypertrophic cardiomyopathy. Int J Cardiovasc Imaging 2014; 30 (8): 1539–48. DOI: 10.1007/s10554-014-0509-6
- Potter E, Marwick TH. Assessment of Left Ventricular Function by Echocardiography: The Case for Routinely Adding Global Longitudinal Strain to Ejection Fraction. JACC Cardiovasc Imaging

- 2018; 11 (2 Pt 1): 260–74. DOI: 10.1016/j.jcmg.2017.11.017
21. Luis SA, Yamada A, Khandheria BK, et al. 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): 285–91. DOI: 10.1016/j.echo.2013.11.002
 22. Yingchoncharoen T, Agarwal S, Popović ZB, et al. Normal ranges of left ventricular strain: a meta-analysis. *J Am Soc Echocardiogr* 2013; 26 (2): 185–91. DOI: 10.1016/j.echo.2012.10.008
 23. Nabeshima Y, Seo Y, Takeuchi M. A review of current trends in three-dimensional analysis of left ventricular myocardial strain. *Cardiovasc Ultrasound* 2020; 18: 23. DOI: 10.1186/s12947-020-00204-3
 24. Алехин М.Н. Ультразвуковые методики оценки деформации миокарда и их клиническое значение. Клиническое значение показателей деформации и вращения миокарда (лекция 3). Ультразвуковая и функциональная диагностика. 2012; 1: 95–114 [Alekhin MN. Ultrasound Methods of Myocardium Strain Evaluation and Their Clinical Significance. Clinical Significance of Myocardium Strain and Rotation Measurements (Lecture 3). *Ultrasound and functional diagnostics*. 2012; 1: 95–114 (in Russian)].
 25. Cho GY, Marwick TH, Kim HS, et al. Global 2-dimensional strain as a new prognosticator in patients with heart failure. *J Am Coll Cardiol* 2009; 54: 618–24. DOI: 10.1016/j.jacc.2009.04.061
 26. Mignot A, Donal E, Zaroui A, et al. Global longitudinal strain as a major predictor of cardiac events in patients with depressed left ventricular function: a multicenter study. *J Am Soc Echocardiogr* 2010; 23: 1019–24. DOI: 10.1016/j.echo.2010.07.019
 27. Doğduş M, Kılıç S, Vuruşkan E. Evaluation of subclinical left ventricular dysfunction in overweight people with 3D speckle tracking echocardiography. *Anatol J Cardiol* 2019; 21 (4): 180–6. DOI: 10.14744/AnatolJCardiol.2018.40456
 28. Чумакова Г.А., Веселовская Н.Г. Клиническое значение висцерального ожирения. М.: ГЭОТАР-Медиа, 2016 [Chumakova GA, Veselovskaya NG. Clinical significance of visceral obesity. Moscow: GEOTAR-Media, 2016 (in Russian)].
 29. Гриценко О.В., Чумакова Г. А., Шевляков И.В., и др. Механизмы развития сердечной недостаточности при ожирении. *Рос. кардиологический журнал*. 2018; 23 (5): 81–6 [Gritsenko OV, Chumakova GA, Shevlyakov IV, et al. The mechanisms of heart failure development in obesity. *Russ J Cardiol*. 2018; 23 (5): 81–6 (in Russian)]. DOI: 10.15829/1560-4071-2018-5-81-86
 30. Leader CJ, Moharram M, Coffey S, et al. Myocardial global longitudinal strain: An early indicator of cardiac interstitial fibrosis modified by spironolactone, in a unique hypertensive rat model. *PLoS One* 2019 12; 14 (8): e0220837. DOI: 10.1371/journal.pone.0220837
 31. Sengeløv MG, Jensen JS, Bruun NE, et al. Global longitudinal strain is a superior predictor of all-cause mortality in heart failure with reduced ejection fraction. *JACC: Cardiovasc Imag* 2015; 8 (12): 1351–9. DOI: 10.1016/j.jcmg.2015.0.013
 32. Helle-Valle T, Crosby J, Edvardsen T, et al. New noninvasive method for assessment of left ventricular rotation: speckle tracking echocardiography. *Circulation* 2005; 112: 3149–56. DOI: 10.1161/CIRCULATIONAHA.104.531558
 33. Park JH. Two-dimensional Echocardiographic Assessment of Myocardial Strain: Important Echocardiographic Parameter Readily Useful in Clinical Field. *Korean Circ J* 2019; 49 (10): 908–31. DOI: 10.4070/kcj.2019.0200
 34. Almutairi HM, Boubertakh R, Miquel ME, Petersen SE. Myocardial deformation assessment using cardiovascular magnetic resonance-feature tracking technique. *Br J Radiol* 2017; 90 (1080): 20170072. DOI: 10.1259/bjr.20170072

Статья поступила в редакцию / The article received: 02.03.2021

Статья принята к печати / The article approved for publication: 24.03.2021

Статья опубликована / Article published: 31.03.2021



OMNIDOCTOR.RU