

МИНИСТЕРСТВО ЗДРАВООХРАНЕНИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ  
ГОСУДАРСТВЕННОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ОБРАЗОВАНИЯ  
«БЕЛОРУССКАЯ МЕДИЦИНСКАЯ АКАДЕМИЯ  
ПОСЛЕДИПЛОМНОГО ОБРАЗОВАНИЯ»

Кафедра функциональной диагностики

**М.П. ЖАРИХИНА Е.А. ВЕРТИНСКИЙ Л.Ю. УШАКОВА**

**ЭХОКАРДИОГРАФИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА  
ДЕФОРМАЦИИ МИОКАРДА ЛЕВОГО ЖЕЛУДОЧКА**

Учебно-методическое пособие

Рекомендовано учебно-методическим объединением  
в сфере дополнительного образования взрослых  
по профилю образования «Здравоохранение»

Минск, БелМАПО  
2021

УДК 616.124.2-007.24-073.43(075.9)

ББК 54.101я73

Ж 34

Рекомендовано в качестве учебно-методического пособия  
НМС Государственного учреждения образования  
«Белорусская медицинская академия последипломного образования»  
от 28.12.2020 (протокол № 8)

Рекомендовано учебно-методическим объединением в сфере дополнительного  
образования взрослых по профилю образования «Здравоохранение» от 22 марта  
2021 года (протокол № 1)

**Авторы:**

*Жарихина М.П.*, старший преподаватель кафедры функциональной  
диагностики ГУО «Белорусская медицинская академия последипломного  
образования»;

*Вертинский Е.А.*, доцент кафедры функциональной диагностики ГУО  
«Белорусская медицинская академия последипломного образования»,  
кандидат медицинских наук, доцент;

*Ушакова Л.Ю.*, заведующий кафедрой функциональной диагностики ГУО  
«Белорусская медицинская академия последипломного образования»,  
кандидат медицинских наук, доцент

**Рецензенты:**

*Павлова О.С.*, заведующий научной лабораторией артериальной гипертензии  
РНПЦ «Кардиология», кандидат медицинских наук;

*2-ая кафедра* внутренних болезней УО «Белорусский государственный  
медицинский университет»

**Жарихина, М.П.**

Ж 34 Эхокардиографическая оценка деформации миокарда левого  
желудочка : учеб.-метод. пособие / М.П. Жарихина, Е.А. Вертинский,  
Л.Ю. Ушакова. – Минск : БелМАПО, 2021. – 27 с.

ISBN 978-985-584-598-1

В учебно-методическом пособии приведены виды деформации миокарда левого желудочка, эхокардиографическая оценка продольной деформации миокарда левого желудочка методом спекл-трекинг эхокардиографии.

Учебно-методическое пособие предназначено для слушателей, осваивающих содержание образовательных программ: переподготовки по специальностям «Функциональная диагностика», «Кардиология», «Ультразвуковая диагностика»; повышения квалификации врачей-кардиологов, врачей функциональной диагностики, врачей ультразвуковой диагностики, врачей-терапевтов, врачей-кардиохирургов.

УДК 616.124.2-007.24-073.43(075.9)

ББК 54.101я73

ISBN 978-985-584-598-1

© Жарихина М.П., Вертинский Е.А.,  
Ушакова Л.Ю. 2021

© Оформление БелМАПО, 2021

## ВВЕДЕНИЕ

**Мотивационная характеристика темы:** знание особенностей проведения спекл-трекинг эхокардиографии для оценки структурно-функционального состояния миокарда левого желудочка.

**Цель занятия:** повышение эффективности использования спекл-трекинг эхокардиографии в диагностике нарушений глобальной систолической функции левого желудочка.

**Задачи занятия:**

1. Строение сердца
2. Основы механики движения сердца
3. Методики оценки деформации миокарда
4. Виды деформации миокарда левого желудочка
5. Латентная систолическая дисфункция левого желудочка

**Требования к исходному уровню знаний:** знание основных подходов к проведению спекл-трекинг эхокардиографии.

## УЧЕБНЫЙ МАТЕРИАЛ

### 1. Строение сердца

Сердце имеет уникальное строение, позволяющее выполнять основные функции – возбудимость, проводимость, сократимость и автоматизм. Классическая концепция трехслойного строения миокарда основана на том, что сократительная способность сердца обеспечивается за счет трех слоев: субэндокарда (внутреннего), миокарда (среднего) и субэпикарда (наружного). Во время систолы желудочков происходит укорочение мышечных волокон во всех трех слоях миокарда, что приводит к сужению полости и изгнанию крови, во время диастолы – расслабление миокарда, расширение и наполнение желудочков. Исследования, проведенные F. Torrent-Guasp [и соавт.], показали, что при рассечении сердца в определенной последовательности миокард разворачивается в одну «полосу», имеющую начало и конец, образованные аортой и легочной артерией. Начинаясь от легочной артерии, полоса миокарда идет назад и налево, образуя первый (базальный) виток спирали и формируя свободные стенки правого и левого желудочков. Затем мышечная полоса спускается к верхушке сердца (нисходящий сегмент апикального витка спирали), где образует петлю и направляется вверх и назад к аорте (восходящий сегмент апикального витка спирали). Нисходящий и восходящий сегменты

апикального витка мышечной спирали образуют межжелудочковую перегородку. Такая концепция, названная теорией «однослойного спирального строения миокарда», позволила по-новому оценить изменения его формы и функции. Свободная стенка левого желудочка (ЛЖ) состоит из двух петель и является более толстой, чем свободная стенка правого желудочка (ПЖ), которая представлена только одной петлей. Поэтому сокращение ЛЖ взрослого человека в значительной степени регулирует общую работу сердца и влияет на деформацию других камер. Систола желудочков начинается сокращением базального витка мышечной спирали, что приводит к сужению и удлинению желудочков и повышению давления в них до уровня давления в магистральных сосудах. Изгнание крови из желудочков осуществляется нисходящим сегментом, сокращение которого подтягивает фиброзные кольца к верхушке сердца и одновременно поворачивает их против часовой стрелки (если смотреть со стороны верхушки сердца), «скручивая» желудочки и «выжимая» из них кровь в магистральные сосуды. При этом мышечные волокна восходящего сегмента растягиваются и меняют свою пространственную ориентацию с преимущественно вертикальной на близкую к горизонтальной. Сокращение растянутого восходящего сегмента «раскручивает» желудочки, что ведет к увеличению их объема и активному «засасыванию» крови из предсердий. В результате этого при последовательной активности каждого из четырех сегментов полосы миокарда происходит четыре основных движения: сужение, сокращение, удлинение и расширение. Кроме того, миокард желудочков представляет собой «спираль внутри спирали» за счет особого расположения волокон: субэпикардальные волокна ЛЖ ориентированы в направлении левовращающей спирали, волокна в медиальном слое – циркулярно, а субэндокардальные волокна – в направлении правовращающей спирали. Таким образом, сокращение сердца – это сложный процесс, анализ которого требует многокомпонентного подхода, а для оценки функции сердца плода необходимо дополнительно учитывать особенности фетальной сердечно-сосудистой гемодинамики. на современной концепции строения сердечной мышцы, предложенной профессором F. Torrent-Guasp [и соавт.] (2004). Отправной точкой в ней стала демонстрация сердечной мышцы в форме единой спирально закрученной полосы или ленты (рис. 1). Мышечная полоса берет начало от легочной артерии и заканчивается у корня аорты. Спираль имеет два витка, названных базальным и верхушечным циклом. Базальный цикл состоит из правого и левого сегмента, представленных свободными стенками правого и левого желудочка. Волокна базального цикла расположены перпендикулярно длинной оси желудочков,

оггибают правую и левую стороны и полностью верхушку сердца. Направление волокон апикального цикла соответствует длинной оси желудочков, с преимущественно косой ориентацией волокон.

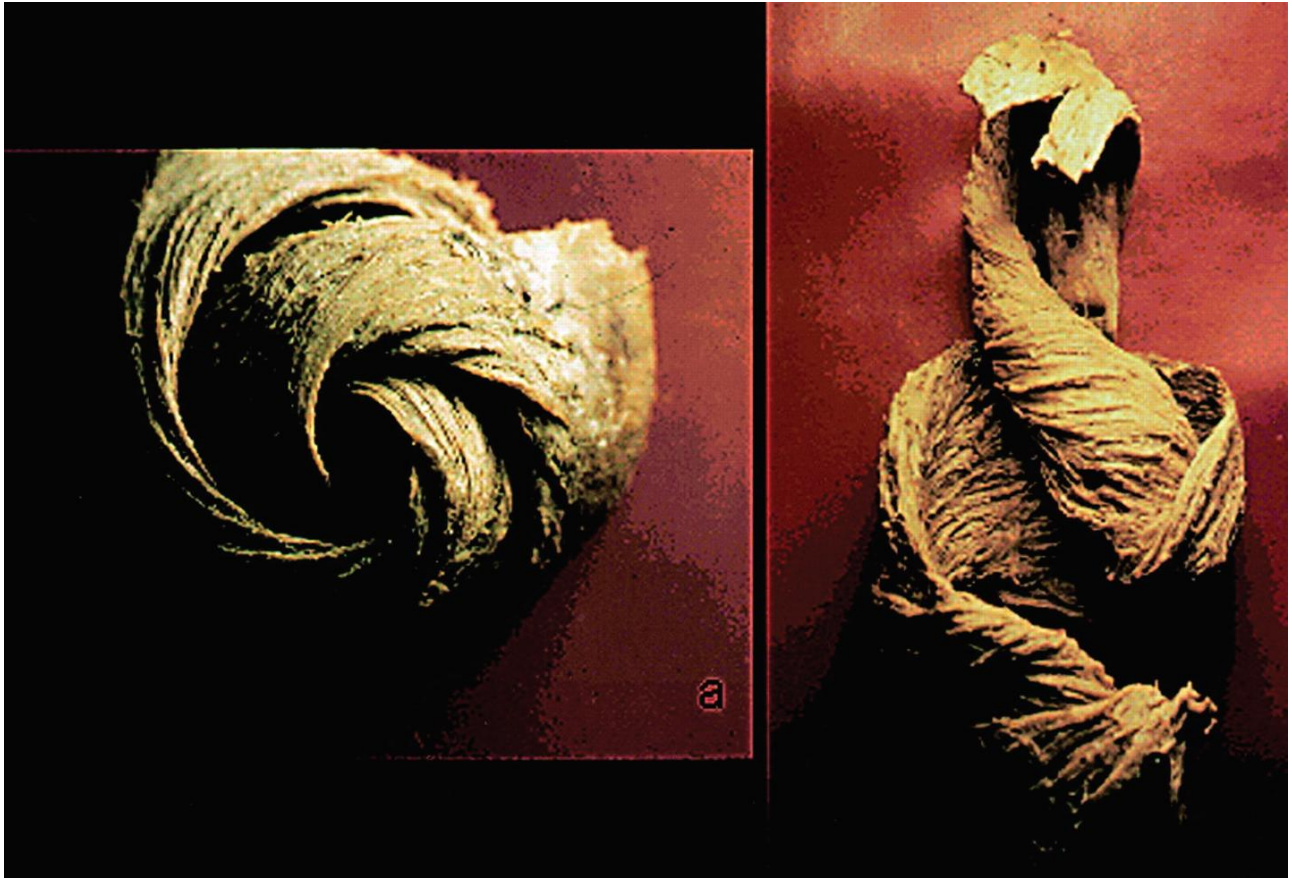


Рисунок 1. Анатомический препарат сердечной мышцы в виде спиральной полосы (F. Torrent-Guasp и соавт., 2004).

## **2. Основы механики движения миокарда**

Систола осуществляется серией точных и скоординированных сокращений миофибрилл, что приводит к эффективному выбросу крови из желудочков. Волокна в субэпикардальном слое работают противоположно волокнам в субэндокардиальном слое вследствие различной пространственной ориентации. Вследствие расположения субэпикардиальных миофибрилл по окружности большого радиуса субэпикардиальный крутящий момент воздействует на субэндокардиальную деформацию. На субэндокардиальный слой миокарда приходится преимущественно продольная механика левого желудочка, в то время как средний и субэпикардиальный слои способствуют преимущественно вращательным движениям. Продольное движение осуществляется от основания до верхушки. Циркулярные движения происходят путем утолщения миокарда в сторону центра.

Ротация левого желудочка формируется, когда верхушка движется в начале систолы по часовой стрелке, в течение остальной части систолы против часовой стрелки. Основание сердца большую часть систолы вращается в противоположную от верхушки сторону- по часовой стрелке. Это движение описывается как кручение или кручение и сокращение желудочка вдоль его длинной оси. В фазу изоволюметрического сокращения и в начале систолы продольные сокращения являются преобладающим движением сердца. Это происходит преимущественно за счет базальных отделов. Благодаря винтовой ориентации миокардиальных волокон, правостороннему сокращению субэндокардиальных волокон в начале систолы, расслаблению субэпикардиальных волокон основания сердца, раннесистолическому вращению основания против часовой стрелки и верхушки по часовой стрелке формируется небольшой раннесистолический поворот по часовой стрелке, как видно со стороны верхушки. Раннесистолическое вращение по часовой стрелке преимущественно отражает функцию субэндокарда и может быть чувствительным маркером для обнаружения субэндокардиальной дисфункции. Во время активной фазы выброса циркулярное укорочение и радиальное сокращение играют важнейшую роль в ротации и раскручивании на протяжении сердечного цикла.

Последующее сокращение субэпикардиальных волокон влево развивает крутящий момент, вращающий в противоположном направлении: верхушка вращается против часовой стрелки, в то время как основание движется по часовой стрелке со стороны верхушки. Это движение приводит к преимущественному повороту сердца против часовой стрелки в течение остальной систолы с положительным углом. Деформация кручением является фундаментальным фактором утолщения стенки левого желудочка.

Систолический пик кручения достигает своего максимума к концу систолы (95-97% систолы), зависит от преднагрузки, постнагрузки и сократимости. Систолический пик кручения зависит от апикального вращения в начале систолы. Систолическое кручение возрастает в преклонном возрасте, частично это явление может быть связано с изменением преднагрузки и постнагрузки, однако в большей мере- со снижением противодействующей функции субэндокардиальных кардиомиоцитов.

Таким образом, во время систолы волокна миокарда укорачиваются в продольном направлении и по окружности и утолщаются в радиальном направлении.

Перед закрытием аортального клапана апикальный субэндокардиальный слой начинает расслабляться, после закрытия аортального клапана начинается релаксация базального субэпикардиального слоя. Релаксация формируется в противоположных направлениях: субэпикарда – от верхушки к основанию, субэпикарда – от основания к верхушке. Наступление релаксации миофибрилл происходит ранее в эпикардиальном слое и наиболее задерживается в субэндокардиальном слое, в результате чего формируется трансмуральная дисперсия релаксации миофибрилл, составляющая около 80 мс. Трансмуральная дисперсия релаксации миокарда вызывает раннедиастолическое растяжение миофибрилл эпикардиального слоя и сокращение эндокардиального слоя. Преобладание растягивающего продольного движения субэпикардиальных волокон в течение изоволюметрической релаксации управляет раскручиванием сердца. Раскручивание базальных отделов левого желудочка против часовой стрелки, верхушки по часовой стрелке (если смотреть со стороны верхушки) начинается в конце систолы, почти 50-70 % этого раскручивания происходит до открытия митрального клапана в фазу изоволюметрической релаксации, оставшая часть завершается во время фазы раннего диастолического наполнения. В остальной части диастолы радиальное и продольное расширение и истончение миокарда происходит одновременно с вращением по часовой стрелке. Из-за винтового расположения волокон по длине левого желудочка радиальное раскручивание связано с удлинением левого желудочка вдоль продольной оси и увеличением диаметра по короткой оси. Скорость раскручивания, рассчитанная в течение первых 64 мс после пика кручения, коррелирует с постоянной времени падения давления в левом желудочке Тау. Пик максимальной скорости раскручивания снижается и задерживается с возрастом, что играет существенную роль в развитии возрастных диастолических дисфункций.

Движения ЛЖ состоят из систолического скручивания, скорости скручивания (twist rate) и диастолического раскручивания (untwist).

В последние годы появилась возможность получения целостного представления механики сокращения и расслабления различных зон миокарда при помощи методов оценки деформации миокарда.

Происходящие при этом механические изменения миокарда описываются следующими терминами:

- перемещение (d) отражает расстояние, на которое смещается исследуемая структура в определенную фазу сердечного цикла (измеряется в мм);

- скорость перемещения ( $v$ ) – быстрота смещения объекта в заданном направлении (измеряется в мм/с);

- стрейн (strain) ( $\varepsilon$ ) – показатель деформации или относительного изменения длины сегмента миокарда (выражается в процентах).

$$\varepsilon = [(L-L_0) / L_0] \times 100\% ,$$

где  $L$  – длина объекта после деформации,  $L_0$  –исходная длина объекта.

При удлинении объекта деформация выражается положительной величиной, при укорочении – отрицательной.

- частота стрейна (strain rate - SR) – локальная скорость деформации в единицу времени. Единицей измерения деформации является  $s^{-1}$ .

Параметры деформации могут быть рассчитаны для отдельных сегментов и конкретных векторов направления.

Виды стрейна в зависимости от анализируемых анатомических территорий:

- сегментарный (деформация каждого сегмента ЛЖ согласно 16- или 17-сегментарной модели его строения);

- средний стрейн (среднее значение деформации всех сегментов, входящих в один ультразвуковой срез);

- глобальный стрейн (среднее значение деформации всех сегментов во всех анализируемых срезах). Данный показатель наиболее изучен на сегодняшний день и имеет более высокое прогностическое значение, чем фракция выброса ЛЖ определяемая по методу Simpson.

К основным показателям сократимости ЛЖ с позиции механики сердца относятся: деформация, скорость деформации, ротация, скорость ротации, скручивание и поворот по оси.

### **3. Методики оценки деформации миокарда**

#### **1. Тканевая доплерография (ТД) и ее режимы.**

Методика тканевой доплеровской визуализации тканей впервые дала возможность оценивать механику сокращения ЛЖ как в глобальном отношении, так и на уровне отдельных сегментов. ТД является доплеровской методикой и основана на количественной оценке скорости движения миокарда в различные фазы сердечного цикла.

Имеются жесткие требования к регистрации изображения:

1. Использование позиций, в которых обеспечивается совпадение луча сканирования с направлением деформации участка миокарда. Угол между распространением ультразвуковых лучей и направлением движения тканей менее  $15^\circ$ ;



2. Высокая частота кадров – более 180 в минуту;
3. Оптимальный предел Найквиста из-за низких скоростей движения миокарда (5-20 см/с).

ТД в каждый момент времени отражает вектор скорости, который является результатом не только собственно сократительной функции, но и ряда движений. Артефакты поглощения и боковой тени, реверберации существенно влияют на точность расчета показателей деформации, снижают воспроизводимость результатов.

Цветовая тканевая доплерография отражает среднюю скорость и суммарный вектор направления движения миокарда в течение сердечного цикла, а также пространственное соотношение движения различных структур сердца в режиме цветовой визуализации.

Цветовая М-модальная тканевая доплерография отображает среднюю скорость и результирующий вектор направления движения миокарда вдоль курсора М-режима.

Импульсноволновой режим регистрирует пиковую скорость и направление движения миокарда или другой сердечной структуры в пределах контрольного объема на протяжении сердечного цикла. Позволяет оценивать продольную и радиальную деформации.

Методика оценки:

1. Контрольный объем малых размеров (обычно 5-10 мм) располагается параллельно ультразвуковому лучу;
2. Апикальная 4-камерная (4С) или 2-камерная (2С) позиции;
3. Предел Найквиста 20-24 см/с.
4. Допплерограмма регистрируется при спокойном дыхании пациента или во время кратковременной задержки дыхания для исключения влияния дыхательных колебаний на усредненный вектор движения миокарда.

Нормальный спектр тканевой доплерограммы имеет характерный вид: он состоит из систолической волны  $S_m$  и двух диастолических волн –  $E_m$  и  $A_m$ . Систолическая волна часто имеет два пика –  $S_1$  и  $S_2$  (рис. 2).  $S_1$  отражает изоволюмическое систолическое напряжение миокарда,  $S_2$  – собственно систолическое сокращение. Систолическая волна  $S$  может варьировать по форме и скорости в зависимости от сегментов миокарда. В продольном сечении максимальная скорость составляет в норме от 8 до 18 см/с. У пациентов с объемной перегрузкой или у молодых лиц с высокой ЧСС максимальная систолическая скорость может быть больше. Для межжелудочковой перегородки и для нижней стенки ЛЖ более характерен монофазный систолический пик, а для передней и боковой стенок – двухфазный с высоким первым пиком.

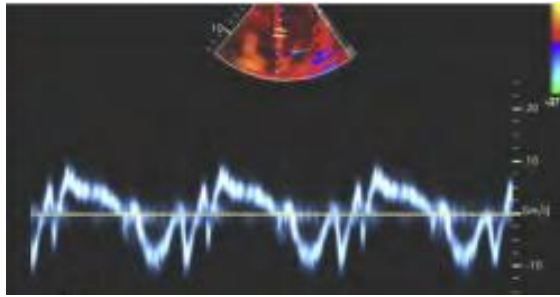


Рисунок 2. Контрольный объем располагается в межжелудочковой перегородке (не на фиброзном кольце).

Наибольшее применение при рутинном исследовании получила методика *импульсно-волновой тканевой доплерографии атриовентрикулярных фиброзных колец* из-за простоты в исполнении вследствие четкости анатомических ориентиров атриовентрикулярных фиброзных колец по сравнению с сегментами миокарда.

Пиковая систолическая скорость движения миокарда (S) в латеральной зоне фиброзного кольца митрального клапана служит показателем продольной систолической функции и имеет высокую корреляцию с показателями фракции выброса ЛЖ. Уменьшение систолической скорости миокарда может быть выявлено в течение 15 с от начала ишемии миокарда, и локальное уменьшение S коррелирует с нарушениями региональной сократимости миокарда. Снижение максимальной систолической скорости движения митрального фиброзного кольца может предшествовать снижению фракции выброса.

При нарушении релаксации желудочков максимальная скорость фиброзного кольца в раннюю диастолу (E') уменьшается, формируется реверсия отношения E'/A'.

Ограничениями методики оценки глобальной сократимости желудочка по систолическому пику движения фиброзного атриовентрикулярного кольца являются объемная перегрузка желудочка со значительной трансклапанной регургитацией, кальциноз фиброзного кольца, протезы клапанов, анатомические особенности и функциональное состояние левого предсердия. Скорость движения фиброзного кольца зависит от длины левого желудочка.

С помощью ТД можно оценить продольную и радиальную деформации.

## 2. M-режим

M-модальное сканирование позволяет в режиме реального времени оценить размеры сердца и систолическую функцию сердца.

Скорость развертки изображения в М-режиме должна быть не менее 50 см/с.

Для оценки продольной деформации левого желудочка определяют амплитуду движения фиброзного кольца митрального клапана (MAPSE).

Линии М-режима проводятся параллельно стенке левого желудочка в апикальном четырехкамерном сечении, что легко достигается с использованием функции Free Xros в современных ультразвуковых аппаратах.

Амплитуда движения митрального кольца в систолу в сторону верхушки пропорциональна степени укорочения длины левого желудочка и отражает его продольную систолическую функцию. Уменьшение амплитуды движения митрального фиброзного кольца указывает на снижение фракции выброса <50% с чувствительностью 98% и специфичностью 82%.

Рассчитать фракцию выброса (EF) можно по формуле:

$$EF = 4.8 \times \text{MAPSE (mm)} + 5.8, \text{ где}$$

MAPSE - амплитуда движения латерального кольца митрального клапана в мм.

3. Спекл-трекинг эхокардиография (стрейн, Speckle-tracking echocardiography - STE).

В последнее десятилетие получила быстрое развитие методика оценки деформации и скручивания миокарда по двухмерному отслеживанию пятен серой шкалы ультразвукового изображения (Leitman M. et al., 2004). Методика основана на распознавании и покадровом отслеживании на изображении положения спеклов – пятен серой шкалы. Эта устойчивая область, состоящая из 20–40 пикселей, формируется при взаимодействии ультразвукового излучения с миокардом в результате рассеивания, преломления и отражения.

Двухмерная спекл-трекинг эхокардиография (2D-стрейн, 2 STE) – количественная ультразвуковая недоплеровская, угол-независимая методика, представляющая данные о деформации миокарда путем анализа движения спеклов, более чувствительная для выявления глобальных и региональных функций миокарда, чем традиционная эхокардиография.

Специальное программное обеспечение позволяет оценить смещение, скорость движения, деформацию и скорость деформации для любого участка миокарда, попавшего в пределы сектора сканирования.

Методика:

► Оценка проводится в апикальных 4-камерной и 2-камерной позициях, апикальной позиции по длинной оси ЛЖ, в позициях по короткой оси сердца на уровнях митрального клапана, папиллярных мышц и верхушки левого желудочка.

► Определяется миокардиальная область интереса в конце диастолы: по эндокардиальной границе — внутренний контур миокарда; эпикардиальной границе — внешний контур миокарда; срединной линии миокарда — срединная ось, определяемая по центру между внутренним и внешним контурами миокарда. Каждый из этих контуров может определяться пользователем или задаваться автоматически (рис. 3).

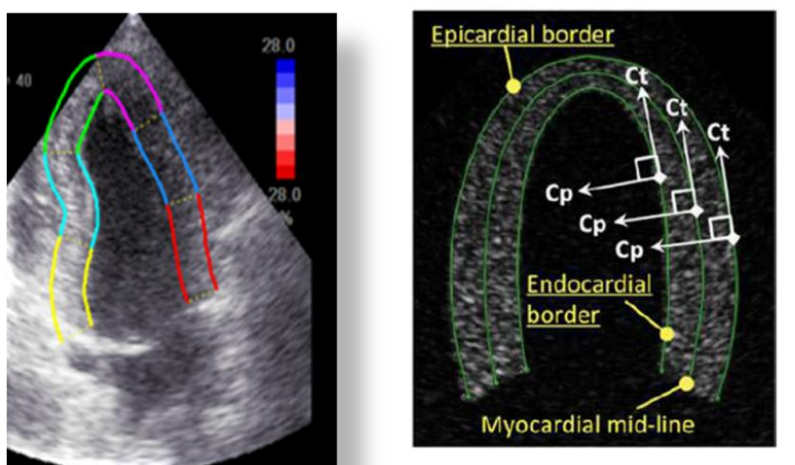


Рисунок 3. Определение миокардиальной области интереса при проведении спектрекинг эхокардиографии.

► Для определения конца диастолы в программном обеспечении следует использовать пик комплекса QRS или пик на графике глобальной продольной деформации (Рис. 4).

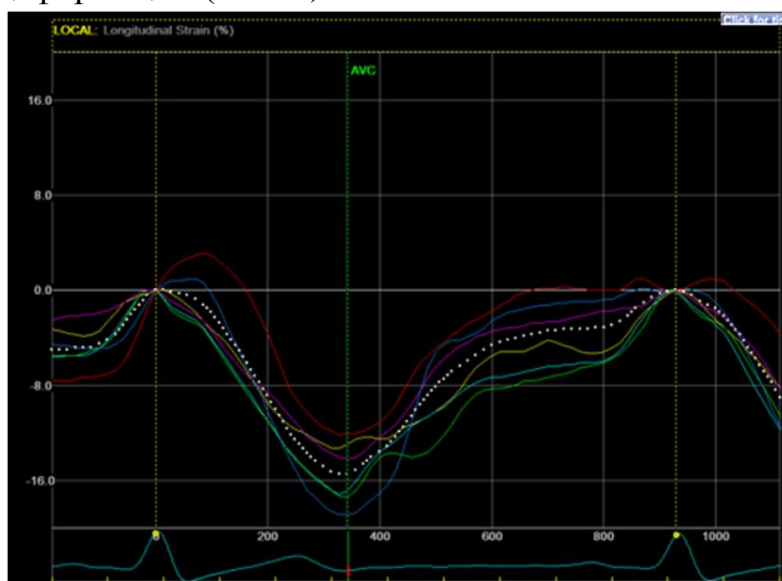


Рисунок 4. График глобальной продольной деформации.

Определение топографической области интереса миокарда в апикальных проекциях: «правое / левое основание» — конечные точки эндокардиальной границы; «середина основания» — середина между двумя крайними базальными точками эндокардиальной границы; «верхушка» — самая отдаленная от «середины основания» или заданная вручную эндокардиальная точка (Рис. 5).

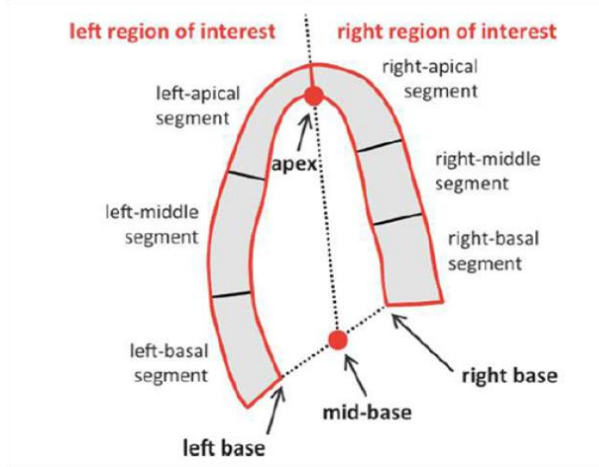


Рисунок 5. Схема деления миокарда на сегменты при спекл-трекинг эхокардиографии.

► Проведение сегментации миокарда путем разделения каждой области интереса на сегменты равной длины в момент конца диастолы.

► Определение конца систолы левого желудочка в апикальной позиции по длинной оси ЛЖ. Конец систолы совпадает с моментом закрытия аортального клапана, который может быть визуализирован в парастеральной (или апикальной) проекции по длинной оси ЛЖ или путем регистрации щелчка закрытия на спектре импульсно-волновой доплерографии трансаортального кровотока.

► В каждом продольном и поперечном сечении ЛЖ программное обеспечение автоматически выделяет шесть одинаковых по протяженности сегментов, в которых производятся расчеты. Автоматически подсчитывается качество трекинга (tracking) для каждого сегмента и, либо применяется либо отвергается, с возможностью дальнейшей ручной коррекции. Сегменты, для которых нет возможности получения адекватного качественного изображения, отклоняются программным обеспечением и исключаются из анализа.

► При оптимизации изображения, программное обеспечение генерирует кривые деформации для каждого выбранного миокардиального сегмента. Из этих кривых, исследователь получает значения регионального и

глобального (путем усреднения значений, наблюдавшихся во всех сегментах) пиков и времени достижения пика.

Построение диаграммы типа «бычий глаз» (Bull's Eye – Мишень) – значение деформации топографического изображения для всех 17 сегментов (Рис.6).

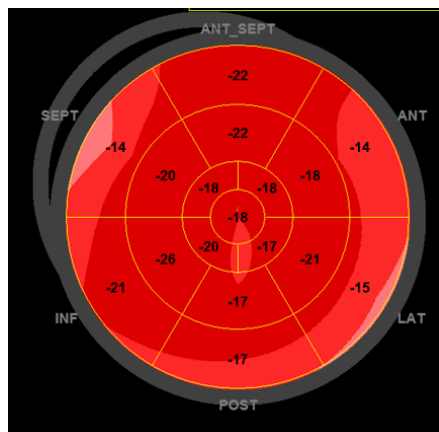


Рисунок 6. Диаграмма Bull's Eye.

Самые высокие амплитуды смещения и скорости смещения отмечаются в базальных сегментах, наименьшие – в вершечных сегментах.

Основными требованиями для проведения количественного анализа деформации миокарда методом 2D - STE являются:

1. наличие синусового ритма;
2. усреднение частоты кадров (60-110)
3. усреднение не менее 3-х последовательных сердечных циклов (наличие правильного ритма);
4. качество двухмерных изображений для получения оптимального определения границы эндокарда.

Необходимо учитывать, что при двухмерной спекл-трекинг эхокардиографии отслеживание движений миокарда производится в двух направлениях, тогда как движение сердца происходит в пространственном измерении. В связи с этим некоторые движения вне плоскости сканирования могут не регистрироваться.

Трехмерные (3D) методы спекл-трекинг эхокардиографии (3D-STE) позволяют измерить все компоненты деформации во всех сегментах ЛЖ и перекрут ЛЖ за одно сканирование, а также провести оценку площади деформации. Для оценки продольной, радиальной, циркулярной деформации и площади деформации в трехмерном режиме выполняется запись изображения с частотой кадров FR 25-50 в секунду с из апикальной 4-камерной позиции в течение четырех или шести сердечных циклов с задержкой дыхания на выдохе.

Трехмерная эхокардиография с отслеживанием спекл-трекинга дает возможность преодолеть значительное ограничение двухмерной спекл-трекинг эхокардиографии, такое как спекл-движение в плоскости. 3D-STE ЛЖ является надежным методом оценки глобальной систолической функции ЛЖ, сильно коррелирующей с фракцией выброса и доплерографией.

Однако, отслеживание деформации миокарда в трех измерениях является сложной задачей, поскольку как пространственное, так и временное разрешение набора трехмерных данных уступают двухмерному изображению, и существует риск развития спекл-декорреляции между последующими объемами.

#### **4. Виды деформации миокарда левого желудочка**

Глобальная сократительная функция миокарда левого желудочка представляет собой совокупность всех видов систолической деформации миокарда.

**Деформация** происходит вследствие движения различных элементов объекта с разными скоростями, поэтому объект меняет свою форму во время движения.

Виды деформации:

1. Продольная деформация (Longitudinal strain – LS);
2. Радиальная деформация (Radial strain – RS);
3. Циркулярная деформации (Circumferential strain – CS);
4. Скручивание (Twisting);
5. Кручение (торсия) (Torsion);
6. Раскручивание (Untwisting).

Наиболее изученным параметром деформации миокарда является продольная деформация (продольный стрейн) ЛЖ.

**Продольная деформация (Longitudinal strain - LS)** – миокардиальная продольная деформация, направленная от основания к верхушке сердца. Во время систолы, желудочковые волокна миокарда укорачиваются с поступательным движением от основания к верхушке (Рис.7).

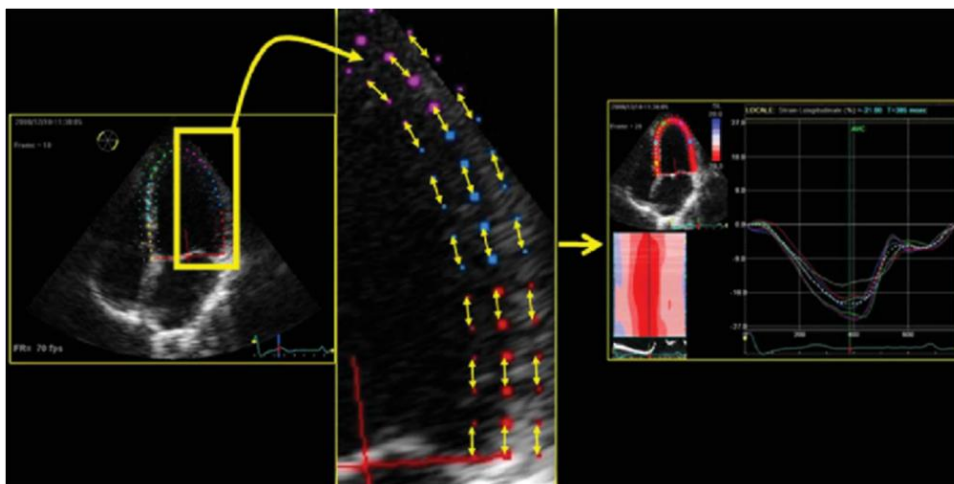


Рисунок 7. Спекл-трекинг эхокардиографический анализ продольной деформации.

Оцениваются следующие показатели продольной деформации: скорость продольного смещения (см/с), продольное смещение (мм), продольный стрейн (деформация) (%), частота продольного стрейна (деформации) ( $\text{с}^{-1}$ ).

Значения продольного стрейна выражают в процентах (%) и имеют отрицательные значения.

Глобальная продольная деформация (GLS) является наиболее изученным параметром на сегодняшний день и отражает сокращение продольно расположенных субэндокардиальных волокон, являющихся наиболее уязвимыми вследствие наибольшего влияния на них внутрижелудочкового давления и особенностей кровоснабжения.

В норме деформация и скорость деформации уменьшаются от базальных к апикальным сегментам. По сравнению со скоростью деформации, деформация более зависима от нагрузки, увеличивается с повышением преднагрузки и снижается с увеличением постнагрузки.

Нарушение продольной функции является чувствительным показателем в диагностике механической дисфункции левого желудочка.

Глобальная продольная деформация может быть оценена с помощью анализа показателей импульсволновой тканевой доплерографии атриовентрикулярных фиброзных колец (систолической скорости движения миокарда в латеральной зоне фиброзного кольца митрального клапана, индекса производительности миокарда), экскурсии митрального фиброзного кольца, показателей спекл-трекинг эхокардиографии.



**Радиальная деформация (Radial strain- RS)** - деформация миокарда, направленная радиально к центру полости левого желудочка, отражающая утолщение и истончение миокарда ЛЖ при движении во время сердечного цикла.

Для оценки радиальной деформации миокарда ЛЖ используют изображения, получаемые в плоскостях по короткой оси перпендикулярно продольной оси ЛЖ и эпикарду на уровне створок митрального клапана, папиллярных мышц и вершины ЛЖ и изображения всех трех апикальных позиций.

Оцениваются следующие показатели радиальной деформации: скорость радиального смещения (см/с), радиальное смещение (мм), радиальный стрейн (деформация) (%), частота радиального стрейна (деформации) ( $\text{с}^{-1}$ ). Значения радиального стрейна выражают в процентах (%), во время систолы значения радиальной деформации представлены положительными кривыми (Рис.8).

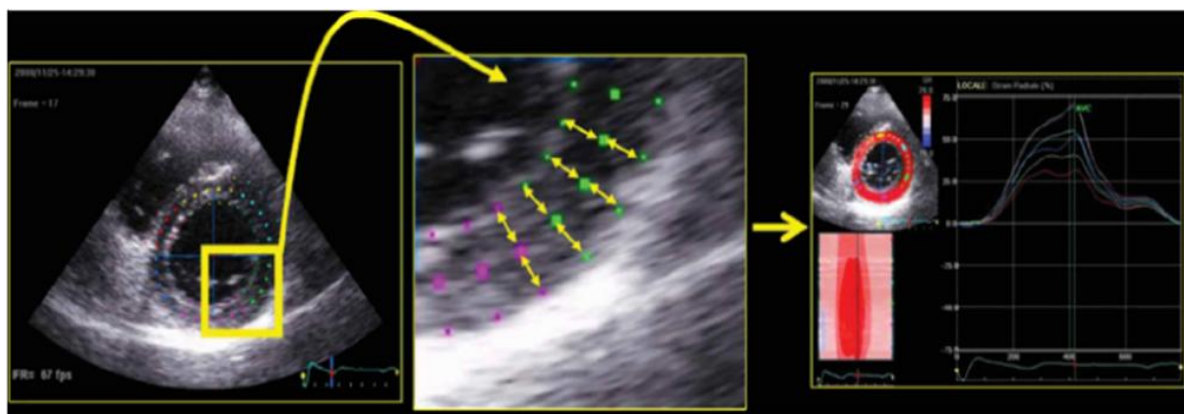


Рисунок 8. Спекл-трекинг эхокардиографический анализ радиальной деформации миокарда

Радиальную деформацию можно оценить с помощью тканевой доплерографии и спекл-трекинг эхокардиографии.

**Циркулярная деформации (Circumferential strain- CS)** – деформация (сокращение) представляет собой укорочение волокон миокарда ЛЖ по циркулярному периметру в плоскости короткой оси сердца перпендикулярно радиальной и длинной осям и определяется, как изменение радиуса по короткой оси.

Определение циркулярной деформации миокарда ЛЖ происходит по тем же принципам, что и оценка радиальной деформации, но с использованием только изображений, получаемых в плоскостях по короткой

оси перпендикулярно продольной оси ЛЖ и эпикарду на уровне створок митрального клапана, папиллярных мышц и верхушки ЛЖ.

Оцениваются следующие показатели циркулярной деформации: скорость циркулярного смещения (см/с), циркулярное смещение (мм), циркулярный стрейн (деформация) (%), частота циркулярного стрейна (деформации) ( $s^{-1}$ ).

Значения циркулярного стрейна выражают в процентах (%), во время систолы измерения циркулярной деформации представлены в виде негативных кривых (Рис.9).

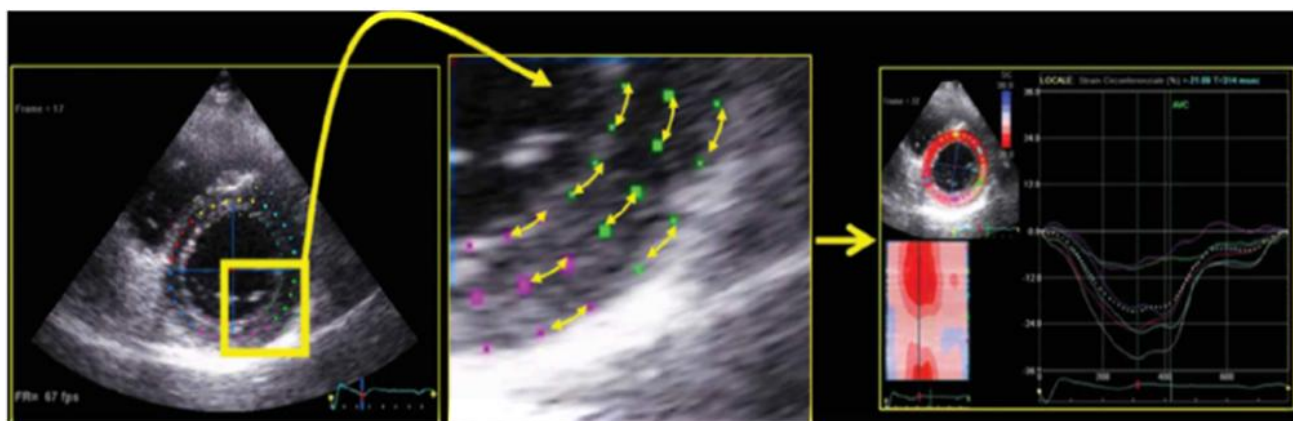


Рисунок 9. Спекл-трекинг эхокардиографический анализ циркулярной деформации.

В совокупности с продольной деформацией, при использовании этого значения можно получить значение глобальной циркулярной деформации.

Ротация (Rot) – угловое смещение сегмента миокарда по короткой оси вокруг продольной оси левого желудочка, измеряется в одной плоскости. Как правило, основание и верхушка желудочка вращаются в противоположных направлениях.

Значения ротации выражают в градусах ( $^{\circ}$ ). Поскольку верхушка ЛЖ в систолу движется против часовой стрелки, а базальные сегменты – по часовой стрелке, то в конце систолы кривые ротации верхушечных сегментов в норме имеют положительные значения, а кривые ротации базальных сегментов - отрицательные значения (Рис.10).

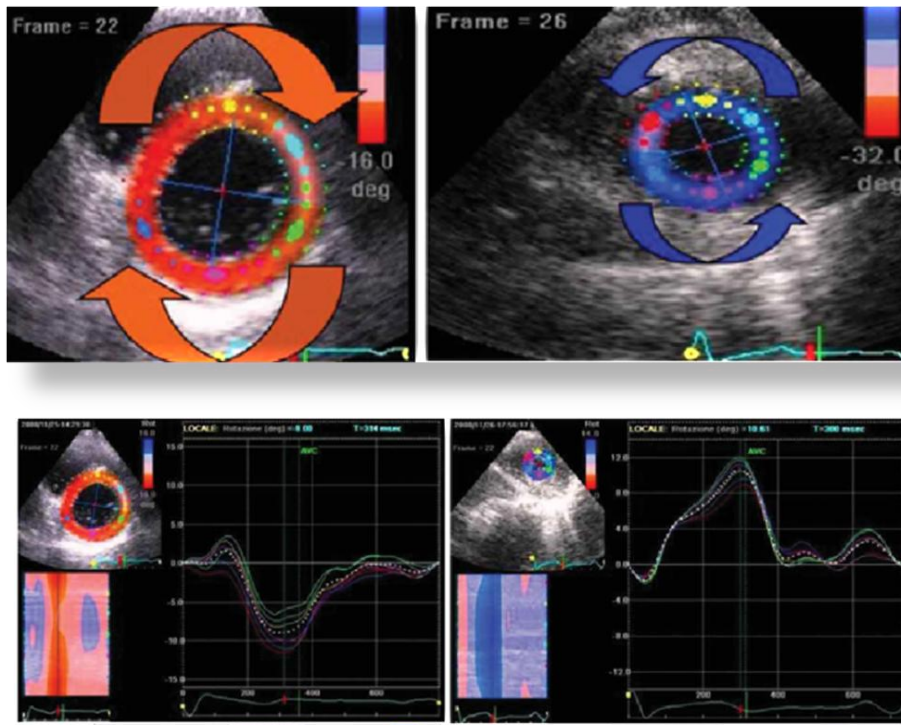


Рисунок 10. Спекл-трекинг эхокардиографический анализ деформации миокарда с указанием измерения ротации на уровне базальных отделов и верхушки.

Ротацию ЛЖ на уровне базальных (RotMV), средних (RotPM) и верхушечных (Rotapex) сегментов рассчитывают по двумерным изображениям из парастеральной позиции по короткой оси ЛЖ.

Рассчитывается скорость ротации ( $^{\circ}/с$ ).

**Скручивание (Twisting)** – компонент нормального систолического сокращения, которое возникает от взаимного поворота верхушки и основания ЛЖ в течении систолы вдоль циркулярного периметра, наблюдаемое в плоскости короткой оси ЛЖ. Скручивание ЛЖ обусловлено разнонаправленным движением основания и верхушки ЛЖ во время систолы.

Количественная оценка скручивания ЛЖ базируется на основе анализа взаимного вращения верхушки и основания ЛЖ во время систолы. Рассчитывается как разница среднего вращения между апикальным и базальным уровнями, определяемых из двух коротких осей плоскостей поперечного сечения ЛЖ, и измеряется в градусах. Угол закручивания увеличивается от основания к верхушке. Глобальное скручивание ЛЖ (twist) определяется как разность значений ротации в конце систолы на уровне верхушечных (Rotapex) и базальных (RotMV) сегментов в градусах (рис. 11).

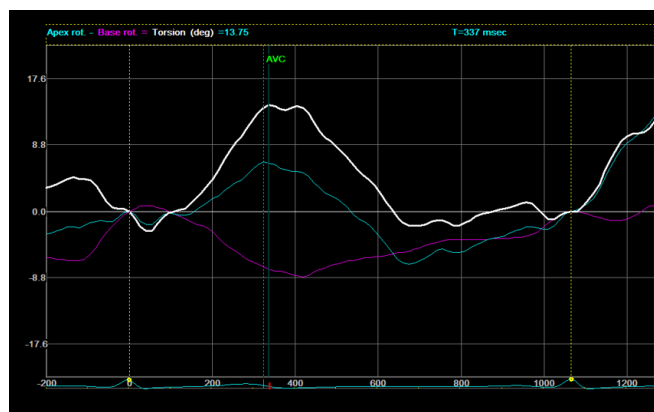


Рисунок 11. Оценка параметров ротации (Rot) и скручивания (Twist) левого желудочка: кривая фиолетового цвета – ротация на уровне базальных сегментов, кривая голубого цвета - ротация на уровне верхушечных сегментов, кривая белого цвета – скручивание.

Скорость скручивания (twist rate) измеряется в градусах в секунду ( $^{\circ}/с$ ).

Скручивание непосредственно связано с циркулярно-продольным углом сдвига, «золотым стандартом» определения которого является МРТ.

**Кручение (Градиент кручения, Torsion)** определяется как поворот (кручение) ЛЖ (или как скручивание ЛЖ), нормализованный на длину желудочка от основания к верхушке, что объясняет тот факт, что больший желудочек имеет больший угол закручивания. Сокращение наклонно ориентированных волокон ЛЖ вызывает поворот (torsion) ЛЖ по длинной оси, который представляет собой градиент угла вращения от основания до верхушки вдоль длинной оси ЛЖ и измеряется в градусах на сантиметр ( $^{\circ}/см$ ).

Систолический пик кручения достигает своего максимума к концу систолы (95-97% систолы), зависит от преднагрузки, постнагрузки и сократимости.

Кручение левого желудочка может быть рассчитано путем измерения апикального и базального вращения с помощью технологии спекл-трекинг эхокардиографии.

**Раскручивание (Untwisting)** – разница между средним верхушечным и базальным вращением в фазе диастолы.

Раскручивание миокарда ЛЖ является важным компонентом в механике диастолического наполнения ЛЖ. Раскручивание считается начальным проявлением активной (изоволюмической) релаксации ЛЖ, что позволяет использовать данный параметр для оценки диастолической функции, главным образом, фазы изоволюмического расслабления, поскольку он имеет меньшую зависимость от объемной нагрузки по сравнению с другими диастолическими параметрами. Раскручивание ЛЖ

вычисляется как отношение разницы максимального систолического скручивания ЛЖ и скручивания в момент открытия митрального клапана к максимальному скручиванию.

Так как продолжительность периода изоволюмического расслабления (IVRT, мс) ЛЖ различается даже у здоровых людей, то для вычисления скорости раскручивания (untwisting rate) полученный показатель раскручивания делится на длительность периода IVRT ЛЖ.

Продольная механика левого желудочка, выполняемая субэндокардиальными кардиомиоцитами, наиболее уязвима и чувствительна к заболеваниям миокарда. При этом сохраненная функция среднего и эпикардиального слоев кардиомиоцитов формирует нормальные или почти нормальные циркулярные и крутящие движения сердца с относительной сохраненной насосной функцией и фракцией выброса левого желудочка. Тем не менее, нарушенные раннедиастолические продольные движения и снижение и/или задержка раскручивания левого желудочка могут обусловить подъем давления наполнения и привести к диастолической дисфункции. С другой стороны, при острых трансмуральных нарушениях или прогрессирующей дисфункции среднего и эпикардиального слоев снижаются циркулярные и вращательные движения левого желудочка и фракция выброса.

### 5. Латентная систолическая дисфункция

Изменения в показателях стрейна и глобальной фракции выброса левого желудочка в зависимости от стадии миокардиальной дисфункции (Рис.12).

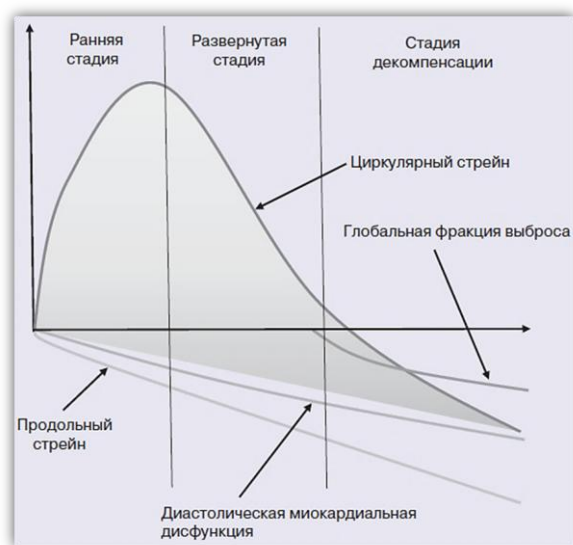


Рисунок 12. Грознова О.С. и соавт. Диагностика систолической миокардиальной дисфункции: анализ деформации миокарда

Оценка размеров и функции ЛЖ является обязательным шагом для надлежащего ведения пациентов с заболеваниями сердечно-сосудистой системы.

Традиционные эхокардиографические геометрические показатели объемов и размеров левого желудочка и левого предсердия, в полной мере не отражают их функциональные особенности.

Наиболее используемым и доступным в клинической практике количественным показателем глобальной систолической функции ЛЖ является фракция выброса, определяемая по методу Simpson, которая отражает преимущественно циркулярное сокращение и демонстрирует изменение объема полости левого желудочка между систолой и диастолой. Расчеты в 2D -режиме показали более точную корреляцию с инвазивными методами, чем расчеты в M-режиме.

Чаще всего используется метод дисков (модифицированный алгоритм Симпсон, биплановая методика), точность измерений при использовании методики практически не зависит от геометрии левого желудочка. Контур левого желудочка обводят по эндокарду в 4-камерной и 2-камерной апикальных позициях в конце систолы и диастолы с определением показателей конечно-диастолического и конечно-систолического объемов.

**Конечно диастолический объем (КДО)**, мл рассчитывается автоматически по уравнению Simpson. Максимальную по площади полость левого желудочка в конце диастолы, определенную в режиме кинопетли как первый кадр после закрытия створок митрального клапана или на начальной части комплекса QRS ЭКГ, трассируют по поверхности эндокарда, папиллярные мышцы исключают из расчета путем трассировки через их основания.

В норме при 2D –трансторакальной эхокардиографии КДО у мужчин составляет 62-150 мл, у женщин -46- 106 мл; при 3D – исследовании индекс КДО у мужчин < 80 мл/м<sup>2</sup>, у женщин - < 72 мл/м<sup>2</sup>

**Конечно систолический объем (КСО)**, мл рассчитывается автоматически по уравнению Simpson. Минимальную по площади полость левого желудочка в конце систолы, определенную в режиме кинопетли в следующем кадре после закрытия створок аортального клапана или на начальной части комплекса QRS ЭКГ, трассируют по поверхности эндокарда, папиллярные мышцы исключают из расчета путем трассировки через их основания.

В норме при 2D –трансторакальной эхокардиографии КСО у мужчин составляет 21-61 мл, у женщин -14-42 мл; при 3D – исследовании индекс КСО у мужчин < 33 мл/м<sup>2</sup>, у женщин - < 29 мл/м<sup>2</sup>

**Ударный объем (УО)**, мл рассчитывается автоматически как разница конечно диастолического и конечно систолического объемов.

В норме ударный объем составляет 70-100 мл.

**Фракция выброса (%) (ФВ)** при расчете по методу дисков при 2D – трансторакальной эхокардиографии составляет у мужчин в норме 52-72%, у женщин – 54-74%; при 3D – исследовании у мужчин > 54, у женщин – >57.

ФВ ЛЖ не является достаточно чувствительным показателем для определения контрактильной дисфункции ЛЖ.

Снижение контрактильности миокарда ЛЖ вызывает увеличение дилатации его полости, что приводит с одной стороны к увеличению тяжести недостаточности клапанов, а с другой стороны, к снижению показателя ФВ, определяемого по Simpson.

Систолические скорости движения фиброзных колец атриовентрикулярных клапанов и амплитуда их движений коррелируют с глобальной сократимостью желудочков.

Продольная и радиальная деформации левого желудочка, а также скорости этих деформаций являются чувствительными инструментами выявления субклинической систолической дисфункции, связанной с ремоделированием левого желудочка. Продольные и радиальные деформации и скорости деформаций значительно снижаются с возрастом, у пациентов с ожирением и по мере нарастания относительной толщины стенок при концентрическом ремоделировании и сохранной фракции выброса левого желудочка.

Продольная деформация миокарда – один из наиболее изученных, чувствительных и воспроизводимых показателей, характеризующий функциональное состояние миокарда и зависящий от морфологических изменений в миокарде. Продольная деформация при рутинном клиническом исследовании может быть оценена с помощью показателей тканевой доплерографии, экскурсии движения фиброзного кольца, спекл-трекинг эхокардиографии. Для этих методик оценка продольных деформаций является более надежной, чем измерение радиальных деформаций, так как апикальные доступы позволяют вести опрос всех сегментов левого желудочка, а наиболее изученные клинические данные относятся к продольной деформации.

В режиме импульсно-волновой ТД оценивают скорость систолического пика движения митрального кольца (S'), отражающую скорость продольного сокращения миокарда в систолу. В норме значение S' митрального кольца более 9 см/с, снижение скорости до 7-4 см/с указывает на незначительное

нарушение систолической функции, менее 3 см/с- на выраженные нарушения.

Индекс производительности миокарда (доплеровский эхокардиографический индекс, или индекс  $Tei$ ) позволяет оценить систолическую и диастолическую функцию отдельно для левого и правого желудочков, рассчитывается как сумма продолжительности периодов изоволюметрической релаксации (IVRT) и изоволюметрического сокращения (IVCT), отнесенная к систолическому периоду выброса (ET).

В норме индекс производительности миокарда левого желудочка  $\leq 0,4$ , увеличение его от 0,6 до  $>1,0$  указывает на систолическую дисфункцию левого желудочка, если увеличена продолжительность периода IVCT, и/или диастолическую дисфункцию левого желудочка, если увеличено время периода изоволюметрической релаксации. Индекс  $Tei$  может быть рассчитан в режимах импульсноволновой доплерографии кровотока и импульсноволновой тканевой доплерографии митрального фиброзного кольца.

Индекс  $Tei$  – это суммарный индекс, отражающий дисфункцию миокарда желудочка. Не зависит от частоты сердечных сокращений, артериального давления, геометрии левого желудочка, степени атриовентрикулярной регургитации, преднагрузки и постнагрузки. Является одним из информативных показателей оценки как систолической, так и диастолической функции. Недостатком расчета индекса  $Tei$  в режиме импульсноволновой доплерографии является выполнение измерений в разные сердечные циклы, преимуществом режима импульсноволновой тканевой доплерографии – выполнение в одном сердечном цикле.

Экскурсия движения митрального фиброзного кольца (MAPSE) в систолу в сторону верхушки пропорциональна степени укорочения длины левого желудочка и отражает его общую систолическую функцию. В норме движение составляет со стороны латерального края фиброзного кольца  $>12$  мм, со стороны септального края фиброзного кольца  $>10$  мм. Уменьшение амплитуды движения митрального фиброзного кольца  $<8$  мм указывает на снижение фракции выброса  $<50\%$ .

Основной же недостаток исследования экскурсии митрального кольца (независимо от метода исследования) связан с тем, что на его движение помимо систолической функции ЛЖ оказывают значительное влияние анатомические особенности и функциональное состояние левого предсердия. Нельзя также исключить влияние гемодинамических факторов – уровня пред- и постнагрузки на ЛЖ.



Глобальная продольная деформация (GLS) утверждена в качестве количественного показателя для оценки глобальной функции ЛЖ. В норме GLS составляет  $> 20\%$  (при абсолютных негативных значениях). Проведенные исследования (Brown J., 2009) продемонстрировали, что глобальный продольный стрейн может рассматриваться как количественный индекс глобальной функции ЛЖ и является индикатором ишемии, гипертрофии, дистрофии и инфильтрации миокарда, а также действия кардиотоксичных препаратов, отторжения миокарда и тяжелых системных заболеваний.

Уменьшение глобальной продольной деформации (GLS) менее  $-20\%$  при сохраненной фракции выброса указывает на субклинические нарушения функции левого желудочка.

Для оценки глобальной сократительной функции левого желудочка у пациентов необходимо применять комплексный подход с оценкой не только радиальной сократительной функции ЛЖ, которую отражает ФВ ЛЖ, определяемая по Simpson, но и продольной деформации, которую количественно отражают показатели спекл-трекинг эхокардиографии - GLS и показатели тканевой доплерографии и экскурсии фиброзного кольца.

Снижение указанных параметров ниже нормативных значений при сохранении ФВ удовлетворительной свидетельствует о развитии *латентной (скрытой, субклинической) систолической дисфункции левого желудочка.*

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Алехин, М.Н. Ультразвуковые методы оценки деформации миокарда и их клиническое значение / М.Н. Алехин. – М. : Видар, 2012. – 86 с.
2. Дзяк, Г.В. Новые возможности в оценке структурно-функционального состояния миокарда при гипертонической болезни / Г.В. Дзяк, М.Ю. Колесник // Здоров'я України, 2013. – № 2. – С. 24–25.
3. Проблема диагностики скрытой систолической дисфункции миокарда левого желудочка у пациентов с выраженной органической митральной регургитацией : материалы XI Всероссийского национального конгресса лучевых диагностов и терапевтов «Радиология-2017» 23-25 мая 2017 г. / М.П. Жарихина, Е.А. Вертинский, С.А. Чиж, Э.И. Шкробнева. – М. : МЕДИ Экспо, 2017. – С. 200–201.
4. Оценка ремоделирования левого желудочка и систолической функции у асимптомных пациентов с органическим поражением клапанов сердца : материалы XIV Всероссийского национального конгресса лучевых диагностов и терапевтов «Радиология-2020», 16-18 сентября 2020 г., Моск. обл., г. Красногорск / М.П. Жарихина, Е.А. Вертинский, Э.И. Шкробнева, И.М. Адашкевич, С.А. Чиж. – М. : «МЕДИ Экспо», 2020. – С. 97.
5. Жарихина, М.П. Оценка глобальной продольной систолической функции левого желудочка у асимптомных пациентов с органическим поражением клапанов сердца : материалы XIV Всероссийского национального конгресса лучевых диагностов и терапевтов «Радиология-2020», 16-18 сентября 2020 г., Моск. обл., г. Красногорск / М.П. Жарихина, Е.А. Вертинский, Э.И. Шкробнева. – М. : «МЕДИ Экспо», 2020. – С. 98.
6. Жерко, О.М. Клиническая трансторакальная эхокардиография : практ. рук. для врачей / О.М. Жерко. – 2-е изд., доп. и перераб. – Мн. : Альфа-книга, 2020. – 848 с.
7. Метод оценки сократительной функции миокарда левого желудочка у пациентов с поражением клапанов сердца : инструкция по применению №171-1219 ; утв. М-вом здравоохранения Респуб. Беларусь 26.12.2019 / сост. : М.П. Жарихина [и др.]. – Минск, 2019. – 5 с.
8. Edvardsen, T. Strain Echocardiography From Variability to Predictability / T. Edvardsen, K.H. Naugaa // J. Am. Coll. Cardiol. Img., 2018. – Vol. 11. – P. 35–3724.
9. Standardization of adult transthoracic echocardiography reporting in agreement with recent chamber quantification, diastolic function, and heart valve disease recommendations: an expert consensus document of the European

Association of Cardiovascular Imaging / M. Galderisi, B. Cosyns, T. Edvardsen, N. Cardim [et al.] // *Eur. Heart. J. Cardiovasc. Imaging*, 2017. – Vol. 18. – P. 1301–1310.

10. Recommendations for cardiac chamber quantification by echocardiography in adults: an update from the American Society of Echocardiography and the European Association of Cardiovascular Imaging / R.M. Lang, L.P. Badano, V. Mor-Avi, J. Afilalo, A. Armstrong, L. Ernande [et al.] // *Eur. Heart. J. Cardiovasc. Imaging*, 2015. – Vol. 16. – P. 233–270.

11. Variability and reproducibility of segmental longitudinal strain measurement: a report from the EACVI-ASE Strain Standardization Task Force / O. Mirea, E.D. Pagourelas, J. Duchenne [et al.] // *J. Am. Coll. Cardiol. Img.*, 2018. – Vol. 11. – P. 15–24.

12. How to diagnose diastolic heart failure: a consensus statement on the diagnosis of heart failure with normal left ventricular ejection fraction by the heart failure and echocardiography associations of the European Society of Cardiology / W.J. Paulus, C. Tschope, J.E. Sanderson [et al.] // *Eur. Heart. J.*, 2007. – Vol. 28. – P. 2539–2550.

13. Definitions for a common standard for 2D speckle tracking echocardiography : consensus document of the EACVI/ASE/Industry Task Force to standardize deformation imaging / J-U. Voigt, G. Pedrizzetti, P. Lysyansky, T.H Marwick [et al.] // *Eur. Heart. J. Cardiovasc. Imaging*, 2015. – Vol. 16. – P. 1–11.

Учебное издание

**Жарихина** Марина Петровна  
**Вертинский** Евгений Анатольевич  
**Ушакова** Людмила Юрьевна

**ЭХОКАРДИОГРАФИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ДЕФОРМАЦИИ  
МИОКАРДА ЛЕВОГО ЖЕЛУДОЧКА**

Учебно-методическое пособие

В авторской редакции

Подписано в печать 22.03.2021. Формат 60x84/16. Бумага «Discovery».

Печать ризография. Гарнитура «Times New Roman».

Печ. л. 1,69. Уч.- изд. л. 1,94. Тираж 100 экз. Заказ 104.

Издатель и полиграфическое исполнение –  
государственное учреждение образования «Белорусская медицинская  
академия последипломного образования».

Свидетельство о государственной регистрации издателя, изготовителя,  
распространителя печатных изданий № 1/136 от 08.01.2014.

Свидетельство о государственной регистрации издателя, изготовителя,  
распространителя печатных изданий № 3/1275 от 23.05.2016.

220013, г. Минск, ул. П. Бровки, 3, кор.3.



**МИНИСТЕРСТВО ЗДРАВООХРАНЕНИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ  
ГОСУДАРСТВЕННОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ОБРАЗОВАНИЯ  
«БЕЛОРУССКАЯ МЕДИЦИНСКАЯ АКАДЕМИЯ  
ПОСЛЕДИПЛОМНОГО ОБРАЗОВАНИЯ»**

**Кафедра функциональной диагностики**

**М.П. ЖАРИХИНА Е.А. ВЕРТИНСКИЙ Л.Ю. УШАКОВА**

**ЭХОКАРДИОГРАФИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА  
ДЕФОРМАЦИИ МИОКАРДА ЛЕВОГО ЖЕЛУДОЧКА**

**Минск, БелМАПО  
2021**

