

МИНИСТЕРСТВО ЗДРАВООХРАНЕНИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ  
БЕЛОРУССКАЯ МЕДИЦИНСКАЯ АКАДЕМИЯ  
ПОСЛЕДИПЛОМНОГО ОБРАЗОВАНИЯ  
КАФЕДРА ФУНКЦИОНАЛЬНОЙ ДИАГНОСТИКИ

**И.Н. ПОНОМАРЕНКО Л.Ю. УШАКОВА**

**СПЕКЛ-ТРЕКИНГ ЭХОКАРДИОГРАФИЯ  
В ОЦЕНКЕ СТРУКТУРНО-ФУНКЦИОНАЛЬНОГО  
СОСТОЯНИЯ МИОКАРДА ЛЕВОГО ЖЕЛУДОЧКА**

учебно-методическое пособие

Минск БелМАПО  
2017

УДК 616.124.2 – 073.43(075.9)

ББК 54.101я73

П 56

Рекомендовано в качестве учебно-методического пособия  
НМС Белорусской медицинской академии последипломного образования  
Протокол № 2 от 24.01. 2017.

**Авторы:**

к.м.н., доцент кафедры функциональной диагностики *Пономаренко И.Н.*,  
зав. кафедрой функциональной диагностики к.м.н., доцент *Ушакова Л.Ю.*

**Рецензенты:**

2-ая кафедра внутренних болезней БГМУ  
профессор каф. кардиологии и внутренних болезней БГМУ, д.м.н. Губкин С.В.

**Пономаренко И.Н.**

П 56

Спекл-трекинг эхокардиография в оценке структурно-функционального состояния миокарда левого желудочка: учебн.-метод. пособие /И.Н. Пономаренко, Л.Ю Ушакова. – Минск.: БелМАПО, 2017 – 17 с.

ISBN 978-985-584-126-6

В учебно-методическом пособии приведены современные представления о возможностях оценки вращения и скручивания левого желудочка на основе технологии двухмерного отслеживания пятен серой шкалы ультразвукового изображения миокарда для оценки структурно-функционального миокарда левого желудочка.

Учебно-методическое пособие предназначено для врачей функциональной и ультразвуковой диагностики, кардиологов, терапевтов.

УДК 616.124.2 – 073.43(075.9)

ББК 54.101я73

ISBN 978-985-584-126-6

© Пономаренко И.Н., [и др.], 2017

© Оформление БелМАПО, 2017

**Тема: СПЕКЛ-ТРЕКИНГ ЭХОКАРДИОГРАФИЯ  
В ОЦЕНКЕ СТРУКТУРНО-ФУНКЦИОНАЛЬНОГО СОСТОЯНИЯ  
МИОКАРДА ЛЕВОГО ЖЕЛУДОЧКА**

**Общее время занятия: 4 часа**

**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.

**Задачи занятия:**

1. Современная концепция физиологии движения миокарда
2. Физические основы спекл-трекинг эхокардиографии
3. Терминология спекл-трекинг эхокардиографии
4. Преимущества технологии двумерного отслеживания пятен по сравнению с доплеровской визуализацией тканей
5. Параметры деформации нормального миокарда
6. Параметры деформации патологического миокарда
7. Ограничения технологии двумерного отслеживания пятен
8. Клиническое значение показателей деформации и вращения миокарда

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

## УЧЕБНЫЙ МАТЕРИАЛ

Стремительное развитие визуализирующих технологий в медицине привело к появлению принципиально новых подходов к оценке структурно-функционального состояния сердца. Среди них особое место занимает спекл-трекинг эхокардиография (ЭхоКГ).

### Современная концепция физиологии движения миокарда

Спекл-трекинг ЭхоКГ основана 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. Второй виток – верхушечный, состоит из восходящего и нисходящего сегментов. Уникальным фактом является то, что пространственная ориентация полосы вписывается в гармоническую пропорцию золотого сечения Пифагора (600 г. до н.э.) и логарифмической спирали Фибоначчи (1250 г.н.э.). Волокна базального цикла расположены перпендикулярно длинной оси желудочков, огибают правую и левую стороны и полностью верхушку сердца. Направление волокон апикального цикла соответствует длинной оси желудочков, с преимущественно косой ориентацией волокон.

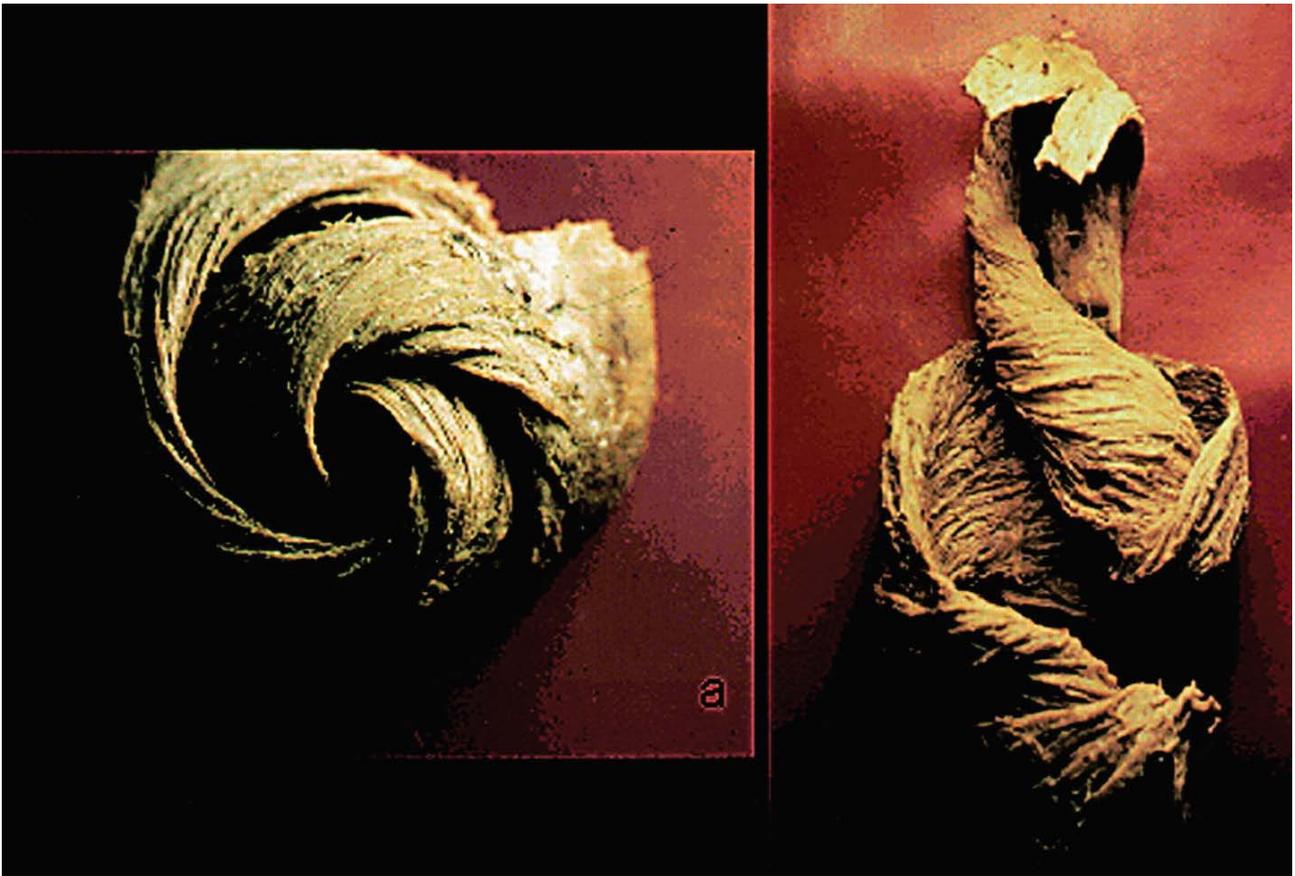


Рис.1. Анатомический препарат сердечной мышцы в виде спиральной полосы (F. Torrent-Guasp и соавт., 2004).

С точки зрения теории полосы выделяют три фазы сердечного цикла: систолу, диастолу и диастазис. Систола начинается фазой компрессии, во время которой происходит центростремительное сужение волокон базального цикла. Далее следует фаза изгнания, связанная с сокращением нисходящего сегмента полосы. При этом основания желудочков вращаются против часовой стрелки, в результате чего происходит скручивание желудочков и изгнание крови в аорту и легочную артерию (рис. 2). Диастола включает две фазы – декомпрессии и всасывания. В первую фазу происходит начальное сокращение восходящего сегмента полосы, что приводит к вращению основания желудочков по часовой стрелке. В фазу всасывания кровь активно поступает из предсердий в результате полного раскручивания желудочков за счет окончательного сокращения восходящего сегмента. Период диастазиса включает фазу дренажа и сокращения предсердий и соответствует состоянию полного расслабления полосы миокарда.

Таким образом, ключевым в теории полосы является спиралевидное строение сердечной мышцы, а также ее скручивание и раскручивание во время систолы и диастолы соответственно. Сокращение полосы определяется пространственной ориентацией и направлением движения ее четырех сегментов. Принципиальным моментом является то, что сегменты уникальны функционально, но не морфологически. При патологии спиралевидная форма постепенно сменяется сферической, что значительно снижает сердечный выброс. Технология спекл-трекинга впервые позволила получить доступный способ количественной оценки показателей апикальной и базальной ротации, скручивания и раскручивания сердца, по-новому оценивать физиологию сокращения и расслабления миокарда.

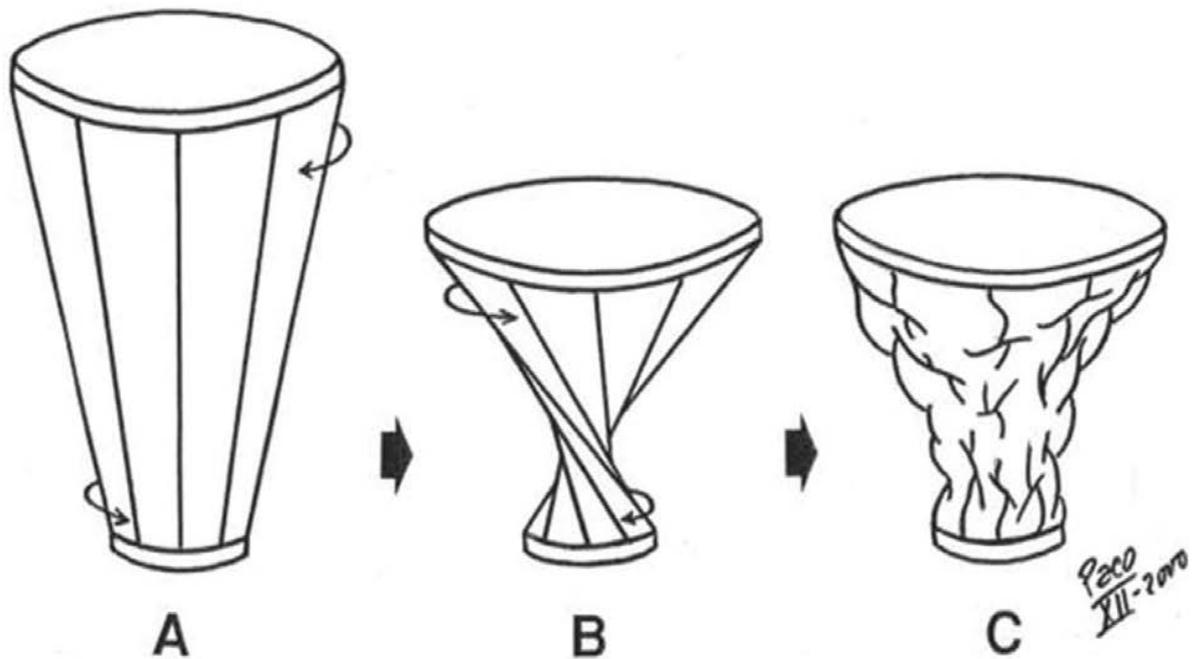


Рис. 2. Схематическое изображение ротации базальных отделов ЛЖ по часовой стрелке и верхушки – против часовой стрелки (А), скручивания в фазу систолы (В), раскручивания в фазу диастолы (С)

## Физические основы спекл-трекинг эхокардиографии

Исторически технология обязана своим происхождением разработкам в сфере безопасности. Речь идет о системах автоматического отслеживания и распознавания объектов видеокамерами по уникальному рисунку лица (например, в аэропортах). Спекл-трекинг ЭхоКГ основана на определении скорости движения миокарда при помощи отслеживания акустических маркеров – спеклов. Последний представляет собой фрагмент серошкального ультразвукового изображения миокарда размером от 20 до 40 пикселей (рис. 3).

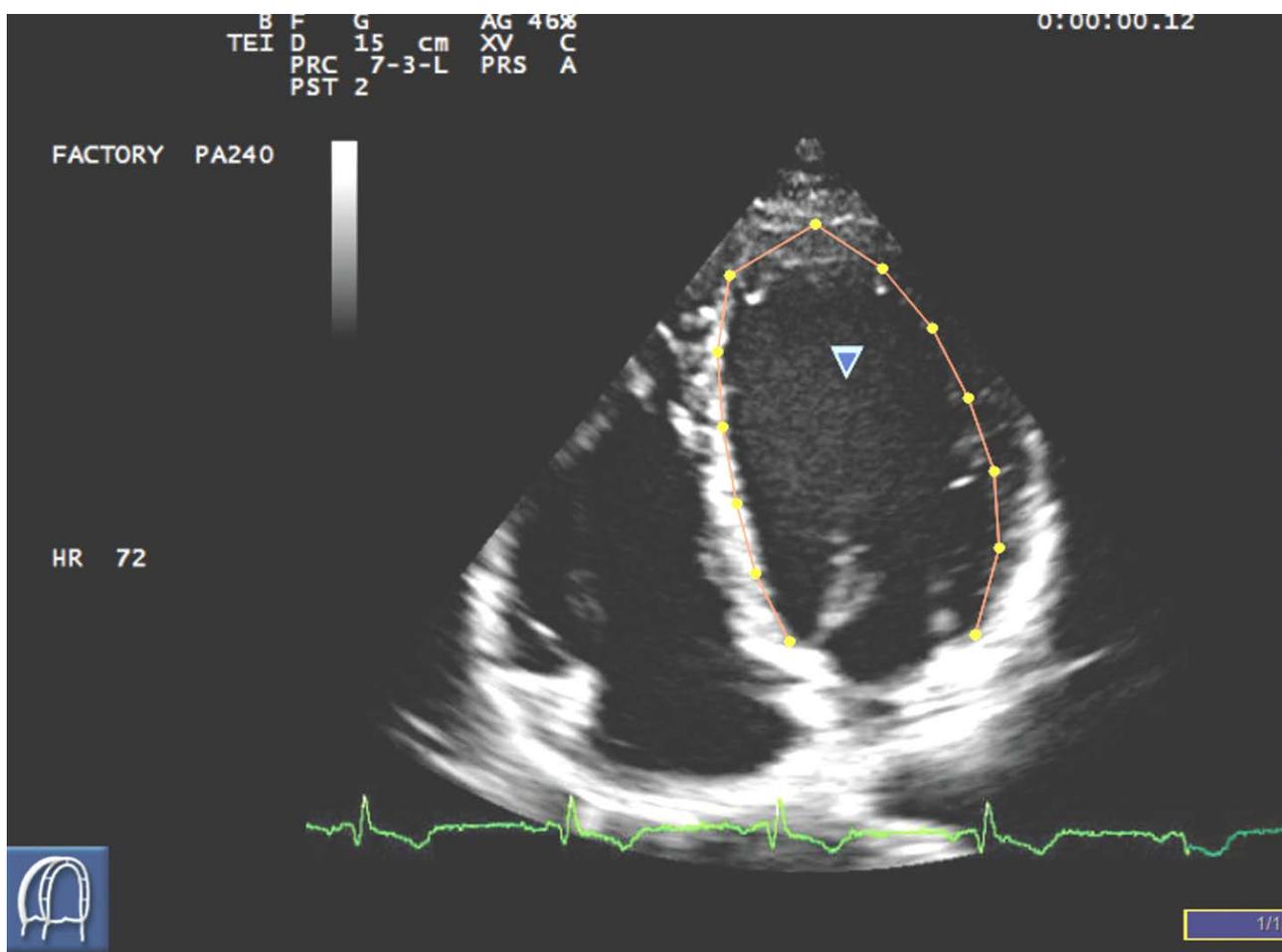


Рис. 3. Отслеживание перемещения спеклов (желтых точек), расположенных по контуру эндокарда левого желудочка в серошкальном режиме эхокардиографии

Рисунок каждого спекла является уникальным, как отпечаток пальца. Положение каждого акустического пятна меняется на последовательных кадрах. Таким образом, можно определить расстояние, на которое перемещается пятно

от кадра к кадру. Кроме изучения различных параметров движения, спекл-трекинг дает возможность изучения деформационных свойств миокарда.

### **Терминология спекл-трекинг эхокардиографии**

1. Стрейн (деформация) – изменение длины волокна относительно исходного. Единица измерения – проценты. Имеет положительное значение в случае удлинения сегмента и отрицательное – в случае укорочения.

Виды стрейна в зависимости от направления движения:

- продольный (деформация от базальных сегментов по направлению к верхушке);
- радиальный (деформация от периферии к центру полости ЛЖ);
- циркулярный (деформация по периметру короткой оси ЛЖ).

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, как продемонстрировали исследования, имеет более высокое прогностическое значение, чем фракция выброса ЛЖ.

2. Стрейн-рейт – скорость деформации миокарда. Является производной стрейна, измеряется в  $1/c$  ( $c^{-1}$ ). Разновидности стрейна и стрейн-рейта идентичны. Также можно оценить этот показатель во время фаз диастолы (раннего наполнения желудочков и систолы предсердий).

3. Ротация – вращение ЛЖ вокруг своей длинной оси. Единица измерения – градус. Различают базальную и апикальную ротацию ЛЖ.

4. Твист – угол закручивания ЛЖ. Определяется как разница между углом апикальной и базальной ротации в систолу, измеряется в градусах.

5. Торсия – закручивание, нормализованное к длине ЛЖ (градусы/см).

6. Антвист – угол раскручивания ЛЖ. Определяется как разница между углом апикальной и базальной ротации в диастолу. Единицы измерения – градусы.

### **Преимущества технологии двухмерного отслеживания пятен по сравнению с доплеровской визуализацией тканей**

По сравнению с доплеровской визуализацией тканей двухмерный стрейн на основе технологии двухмерного отслеживания пятен имеет ряд преимуществ:

- Не зависит от угла сканирования
- Не требует столь высокой частоты кадров
- Не зависит от эффекта подтягивания (tethering)
- Обладает большей воспроизводимостью данных
- Позволяет анализировать кроме продольного стрейна радиальный и циркулярный стрейны, а также показатели вращения левого желудочка

### **Параметры деформации нормального миокарда**

Глобальный продольный максимальный систолический стрейн составляет  $-18,6 \pm 0,1\%$ , максимальная систолическая скорость стрейна  $-1,10 \pm 0,01 \text{ с}^{-1}$ , ранняя диастолическая скорость стрейна  $-1,55 \pm 0,01 \text{ с}^{-1}$ , диастолическая скорость стрейна в позднюю диастолу  $-1,02 \pm 0,01 \text{ с}^{-1}$ .

Значения продольного стрейна в базальных сегментах меньше по сравнению со средними и верхушечными сегментами (рис. 4). Остается неясным, от-

ражает ли это меньшую сократимость базальных сегментов или это обусловлено методологическими особенностями.

Показатели стрейна и скорости стрейна не индексируются в зависимости от пола и формы левого желудочка.

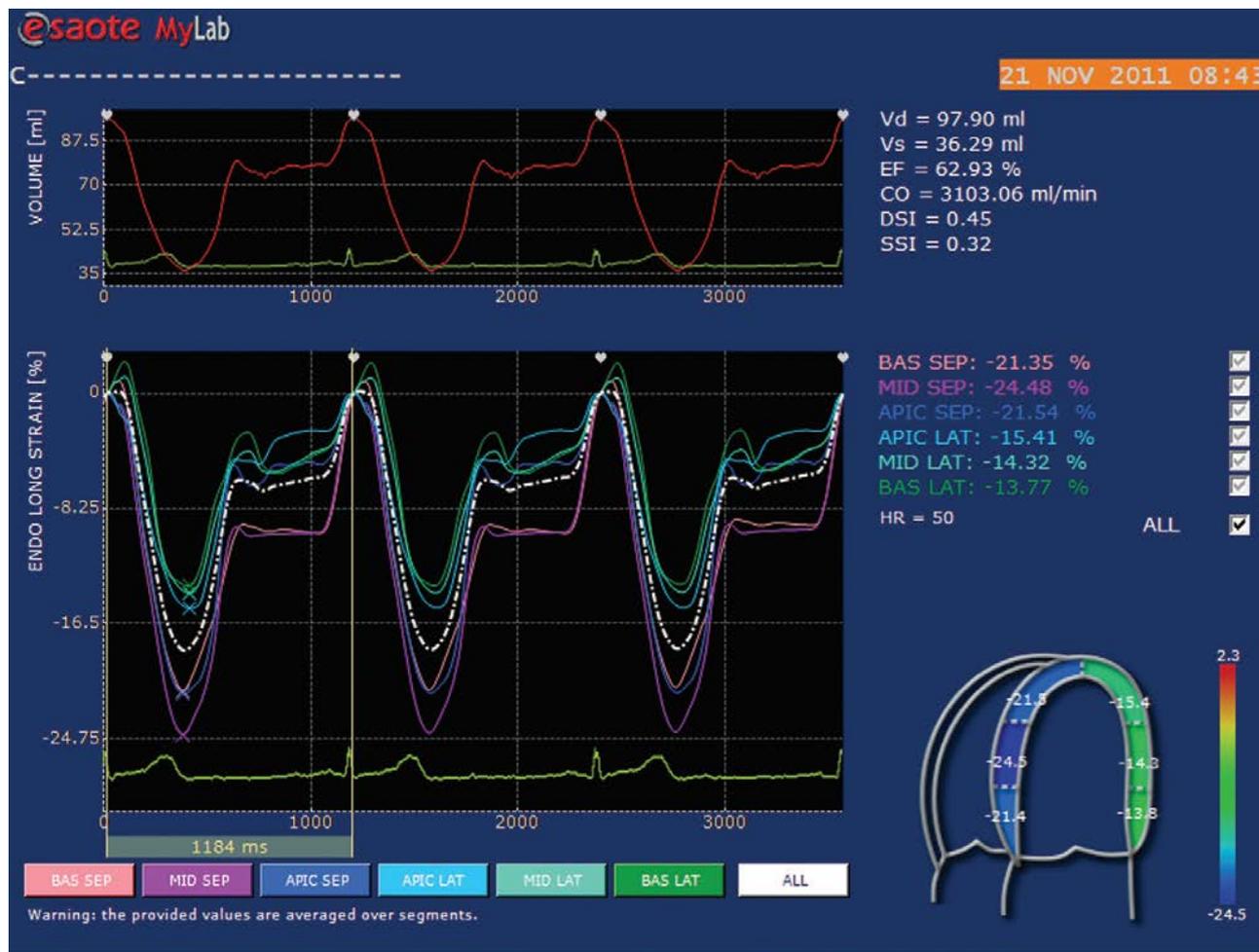


Рис. 4. Исследование продольного стрейна ЛЖ у практически здорового мужчины в возрасте 52 лет. Среднее значение стрейна составляет -18,5%.

### Параметры деформации патологического миокарда

Систолическое продольное укорочение левого желудочка в основном осуществляется за счет сокращения субэндокардиальных слоев миокарда, которые являются наиболее уязвимыми вследствие наибольшего влияния на них внутрижелудочкового давления и относительного скудного кровоснабжения этой зоны. Поэтому нарушение продольной функции является наиболее чув-

ствительным в диагностике механической дисфункции левого желудочка. Срединные и эпикардиальные участки миокарда могут не затрагиваться патологическим процессом на начальных этапах, и вследствие этого циркулярная деформация левого желудочка и его скручивание могут оставаться в норме или даже компенсаторно увеличиваться с целью поддержания систолической функции левого желудочка.

Если целью исследования является выявление заболевания миокарда на ранней стадии, то можно ограничиться регистрацией нарушений продольной деформации (рис. 5). Дальнейшая характеристика радиальной, циркулярной деформации и показателей скручивания позволяет оценить трансмуральное повреждение и выявить механизм дисфункции левого желудочка.

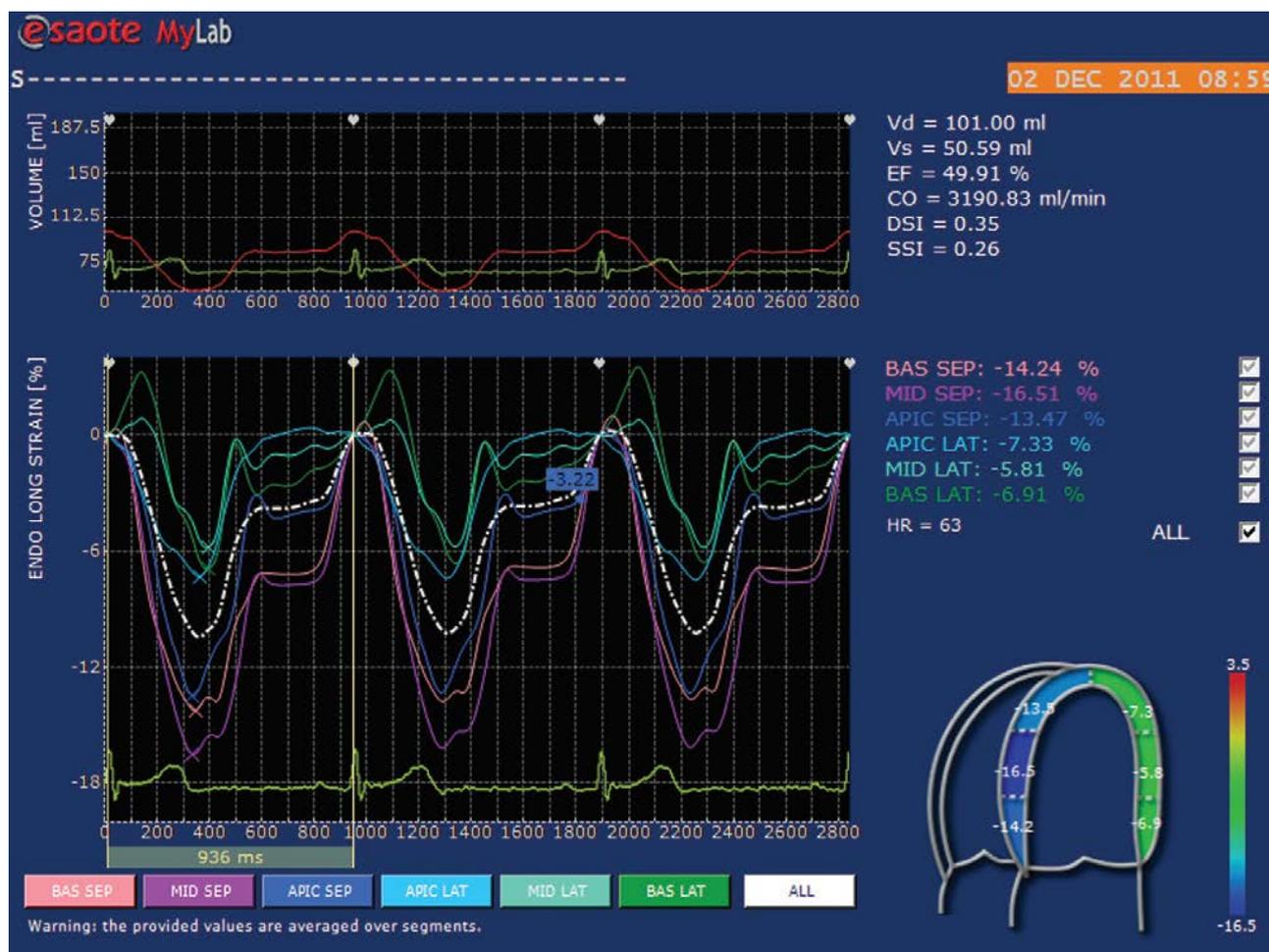


Рис. 5. Исследование продольного стрейна ЛЖ у пациента с артериальной гипертензией без гипертрофии ЛЖ. Среднее значение стрейна составляет -10,7%.

## **Ограничения технологии двухмерного отслеживания пятен**

- Необходимо четкое определение эндокарда для проведения поперечного отслеживания данных. Неудовлетворительное качество визуализации не позволяет в ряде случаев провести анализ деформации миокарда. Так, даже у молодых здоровых людей около 6% сегментов левого желудочка не удастся анализировать из-за неудовлетворительного качества визуализации.

## **Клиническое значение показателей деформации и вращения миокарда**

- Гипертрофия левого желудочка  
В настоящее время показана возможность использования показателей деформации миокарда для выявления субклинических изменений миокарда при гипертрофии левого желудочка, а также для дифференциальной диагностики физиологической и патологической гипертрофии левого желудочка
- Инфаркт миокарда  
Продольные показатели деформации существенно снижаются у больных инфарктом миокарда пропорционально площади инфаркта и тесно коррелируют с массой инфаркта и фракцией выброса левого желудочка. У больных с мелкоочаговыми инфарктами миокарда с сохраненной фракцией выброса снижаются продольный и радиальный стрейны, а циркулярный стрейн и показатели вращения и скручивания остаются относительно неизменными. При трансмуральных инфарктах миокарда наряду с продольными и радиальными стрейнами наблюдается снижение и циркулярного стрейна, а также снижение показателей систолического скручивания и

диастолического раскручивания. Эти изменения коррелируют со снижением фракции выброса и степенью диастолической дисфункции.

- Сердечная недостаточность

У больных с сердечной недостаточностью с сохраненной фракцией выброса левого желудочка продольный стрейн прогрессивно снижается по мере нарастания функционального класса сердечной недостаточности. У больных с III и IV функциональными классами по NYHA наряду со снижением продольного стрейна наблюдается уменьшение циркулярного и радиального стрейнов левого желудочка.

Показатели вращения, скручивания и раскручивания увеличиваются у больных с небольшой диастолической дисфункцией. По мере прогрессирования диастолической дисфункции и увеличения давления наполнения левого желудочка эти показатели нормализуются или снижаются.

- Аортальный стеноз

Снижение продольного стрейна коррелирует с выраженностью аортального стеноза. Радиальный и циркулярный стрейны, а также скручивание левого желудочка обычно не снижаются при начальных нарушениях функции левого желудочка. После протезирования аортального клапана у больных с выраженным аортальным стенозом и с фракцией выброса более 55% наблюдается увеличение стрейна и скорости стрейна во всех трех направлениях уже через 3 месяца после операции.

- Аортальная недостаточность

Продольная и радиальная максимальная систолическая скорости стрейна снижены у больных с выраженной аортальной недостаточностью и связаны не только с сократимостью, но и коррелируют с объемами левого желудочка (конечным систолическим и конечным диастолическим). Продольный и циркулярный стрейны и скорости стрейнов коррелируют с размерами левого желудочка (в систолу и диастолу). Радиальный стрейн снижается сразу после протезирования аортального клапана из-за резкого

изменения преднагрузки левого желудочка и в последующем постепенно восстанавливается на протяжении 6 месяцев.

- Митральная недостаточность

Начальная дисфункция левого желудочка у больных с нормальной фракцией выброса и митральной недостаточностью характеризуется снижением глобального продольного стрейна, а также продольной, радиальной и циркулярной скоростей стрейна. При выраженной митральной недостаточности скорость продольного стрейна снижается раньше по сравнению с циркулярной и радиальными скоростями стрейна. Продольный стрейн и скорость стрейна первыми реагируют на процесс ремоделирования левого желудочка, затем регистрируется снижение скорости циркулярного и радиального стрейнов.

- Гипертрофическая кардиомиопатия

Продольный стрейн у больных с гипертрофической кардиомиопатией уменьшается пропорционально появлению симптоматики. Независимыми предикторами снижения конечного систолического продольного стрейна являются количество и локализация фиброза левого желудочка и толщина его стенок в диастолу. В зависимости от распространенности поражения миокарда может наблюдаться компенсаторное увеличение циркулярного стрейна в ответ на снижение продольного стрейна у этих больных.

- Дилатационная кардиомиопатия

При дилатационной кардиомиопатии происходит снижение стрейна во всех трех направлениях, а также скорости стрейна во все фазы сердечного цикла. Выраженность снижения показателей деформации коррелирует с фракцией выброса левого желудочка.

- Рестриктивные кардиомиопатии

По данным одних авторов, у больных с амилоидозом наблюдается значительное снижение продольного стрейна, в то время как циркулярный

стрейн и скручивание левого желудочка могут длительное время оставаться сохранными и тем самым поддерживать фракцию выброса. По данным других авторов, у больных с амилоидозом наблюдалось снижение стрейна во всех трех направлениях.

- Заболевания перикарда

При констриктивном перикардите наблюдается существенное снижение циркулярного стрейна и скручивания при относительной сохранности продольного стрейна. Снижение циркулярного стрейна существенно коррелирует с толщиной перикарда в области верхушки, измеренной при компьютерной томографии.

- Оценка диссинхронии сердца

Использование показателей деформации миокарда может оказаться перспективным для оценки диссинхронии сердца и левого желудочка. Особенно актуально использование показателей деформации миокарда для подбора кандидатов для сердечной ресинхронизирующей терапии. В случае адекватного ответа на сердечную ресинхронизирующую терапию наблюдается существенное увеличение стрейна в различных направлениях по мере обратного ремоделирования левого желудочка и увеличения его фракции выброса.

- Бессимптомное поражение сердца при системных заболеваниях

Оценка показателей деформации миокарда и скручивания левого желудочка может оказаться очень полезной для доклинического выявления вовлечения сердца при целом ряде заболеваний. В настоящее время показаны изменения показателей деформации миокарда при ревматоидном артрите, дефекте межпредсердной перегородки, болезни Фабри и др. При этом показано преимущество оценки показателей деформации миокарда по сравнению с фракцией выброса при выявлении дисфункции левого желудочка. Так, продольный максимальный систолический стрейн снижен у пациентов с сахарным диабетом 2 типа с сохраненной систоличе-

ской функцией левого желудочка и не имеющих каких-либо клинических симптомов заболевания. При этом продольный максимальный систолический стрейн коррелирует с длительностью течения сахарного диабета.

Таким образом, оценка деформации и скручивания левого желудочка может быть весьма полезной в целом ряде клинических ситуаций как вспомогательный инструмент количественной характеристики функции миокарда и сердца в целом.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Алехин М.Н. Ультразвуковые методы оценки деформации миокарда и их клиническое значение / М.Н. Алехин – М., Видар, 2012. – 86 с.
2. Калинин А., Алехин М.Н., Бахс Г. и др. Оценка состояния миокарда предсердий в режиме двухмерной серошкальной деформации у больных артериальной гипертензией с небольшой гипертрофией левого желудочка / А. Калинин, М. Н. Алехин, Г. Бахс // Кардиология. – 2010. – № 8. – С. 13-18.
3. Дзяк Г.В., Колесник М.Ю. 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.
4. Assessment of Myocardial Mechanics Using Speckle Tracking Echocardiography: Fundamentals and Clinical Applications / H. Geyer, G. Caracciolo, H. Abe [et al.] // J. Am. Soc. Echocardiogr. – 2010. – Vol. 23. – P. 351-369.
5. Two dimensional speckle tracking echocardiography: clinical applications. / H. Blessberger, T. Binder // Heart. – 2010. – Vol. 96. – P. 2032-2040.

Учебное издание

**Пономаренко Ирина Николаевна**  
**Ушакова Людмила Юрьевна**

**СПЕКЛ-ТРЕКИНГ ЭХОКАРДИОГРАФИЯ**  
**В ОЦЕНКЕ СТРУКТУРНО-ФУНКЦИОНАЛЬНОГО СОСТОЯНИЯ**  
**МИОКАРДА ЛЕВОГО ЖЕЛУДОЧКА**  
Учебно-методическое пособие

Ответственная за выпуск И.Н. Пономаренко

Подписано в печать 24. 01. 2017. Формат 60x84/16. Бумага «Discovery».

Печать ризография. Гарнитура «Times New Roman».

Печ. л. 1,16. Уч.- изд. л. 1,40. Тираж 100 экз. Заказ 59.

Издатель и полиграфическое исполнение –

Белорусская медицинская академия последипломного образования.

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

220013, г. Минск, ул. П. Бровки, 3.

