

М.Н. Алехин

**Двухмерная спекл-
трекинг-эхокардиография
для оценки деформации
миокарда и камер сердца**

Учебное пособие



УДК 616.127-073.431
ББК 53.6 (54.101)
А 49

Утверждено и рекомендовано к печати Ученым советом ФГБУ ДПО «ЦГМА» (протокол № 8 от 23.11.2021).



Автор и издательство выражают искреннюю признательность компании GE Healthcare за помощь в издании этой книги

Алехин М.Н.

А 49 Двухмерная спекл-трекинг-эхокардиография для оценки деформации миокарда и камер сердца : Учебное пособие / Алехин М.Н. – М.: Издательский дом Видар-М, 2022. – 112 с.: ил.

ISBN 978-5-88429-274-1

Учебное пособие «Двухмерная спекл-трекинг-эхокардиография для оценки деформации миокарда и камер сердца» посвящено новой технологии эхокардиографического исследования, позволяющей оценивать деформацию миокарда на основе отслеживания спеклов серошкального ультразвукового сканирования – спекл-трекинг-эхокардиографии. В учебном пособии изложена методика проведения спекл-трекинг-эхокардиографии камер сердца, представлены основные показатели деформации миокарда и их значения в норме и при различных патологических состояниях сердца. В пособии приведены тестовые задания и ситуационные задачи.

Данное пособие может быть использовано в системе непрерывного последипломного образования при реализации образовательных программ ординатуры и аспирантуры в системе высшего образования, а также на циклах профессиональной переподготовки и повышения квалификации врачей-кардиологов по специальности «кардиология», врачей функциональной диагностики по специальности «функциональная диагностика», врачей ультразвуковой диагностики по специальности «ультразвуковая диагностика».

УДК 616.127-073.431
ББК 53.6 (54.101)

Рецензенты:

А.Б. Хадзегова – доктор медицинских наук, профессор, заведующая кафедрой клинической ультразвуковой и функциональной диагностики ФУВ, руководитель отдела функциональной и ультразвуковой диагностики МОНИКИ им. М.Ф. Владимирского.

В.П. Седов – доктор медицинских наук, профессор кафедры кардиологии, функциональной и ультразвуковой диагностики ФGAOY BO Первый Московский государственный медицинский университет им. И.М. Сеченова Минздрава России (Сеченовский университет).

ISBN 978-5-88429-274-1

© Алехин М.Н., 2022

© Оформление. Издательский дом Видар-М, 2022

Оглавление

Список сокращений	5
Введение	6
Глава 1. Понятие о деформации, показатели деформации миокарда и левого желудочка	9
1.1. Показатели деформации: стрейн и скорость стрейна	9
1.2. Деформация миокарда левого желудочка сердца	11
1.3. Ультразвуковые способы оценки деформации миокарда	14
Глава 2. Спекл-трекинг-эхокардиография левого желудочка	17
2.1. Регистрация данных для спекл-трекинг-эхокардиографии левого желудочка	17
2.2. Основные показатели деформации	19
2.3. Глобальная деформация левого желудочка как наиболее ранний предиктор миокардиальной недостаточности	23
2.4. Клиническое значение спекл-трекинг-эхокардиографии левого желудочка	26
2.5. Глобальная деформация и механическая дисперсия левого желудочка – независимые прогностические факторы неблагоприятных кардиальных событий	38
Глава 3. Спекл-трекинг-эхокардиография правого желудочка	43
3.1. Особенности регистрации данных и основные показатели спекл-трекинг-эхокардиографии правого желудочка	43
3.2. Клиническое значение показателей спекл-трекинг-эхокардиографии правого желудочка	47
Глава 4. Спекл-трекинг-эхокардиография левого предсердия	51
4.1. Особенности регистрации данных и основные показатели спекл-трекинг-эхокардиографии левого предсердия	51
4.2. Клиническое значение показателей спекл-трекинг-эхокардиографии левого предсердия	59
4.3. Показатели деформации левого предсердия у больных с хронической сердечной недостаточностью	61
4.4. Спекл-трекинг-эхокардиография левого предсердия в оценке диастолической функции левого желудочка сердца	65
Глава 5. Спекл-трекинг-эхокардиография правого предсердия	73

Глава 6. Спекл-трекинг стресс-эхокардиография	77
6.1. Показатели деформации миокарда левого желудочка при спекл-трекинг стресс-эхокардиографии у здоровых лиц.	78
6.2. Возможности спекл-трекинг стресс-эхокардиографии у пациентов с ишемической болезнью сердца	80
Заключение	87
Рекомендуемая литература	89
Основная литература	89
Дополнительная литература.	89
Тестовые задания	102
Ситуационные задачи	107
Ответы на тестовые задания.	110
Ответы на ситуационные задачи	110

Введение

Оценка сократимости сердечной мышцы является одной из важнейших задач кардиологии, которая в настоящее время решается с использованием ряда неинвазивных методов визуальной диагностики, одним из которых является ультразвуковое исследование сердца, или эхокардиография. Сокращение любой мышцы сопровождается изменением ее формы, то есть деформацией. В 80-е годы XX столетия I. Mirsky и W.W. Parmley (1973) сформулировали концепцию деформации миокарда, которая в настоящее время широко используется для оценки механики левого желудочка и других камер сердца. G.R. Sutherland и соавт. (1994) предложили использовать цветное картирование для доплеровского анализа движения миокарда. В это же время A.D. Fleming и соавт. (1994) представили возможности оценки сократимости миокарда, исходя из градиента скорости миокарда. В 1997 г. A. Heimdal и соавт. предложили анализ деформации и скорости деформации миокарда в реальном режиме времени как новую технологию доплеровской визуализации тканей. Впоследствии исследовательская группа из Норвежского университета науки и технологий опубликовала основополагающую концепцию 1998 г. и продемонстрировала практическое применение скорости деформации в эхокардиографии на основе доплеровской визуализации тканей. Наряду с этим был предложен метод оценки деформации миокарда на основе двухмерного ультразвукового изображения, который базируется на технологии отслеживания пятен (*speckle-tracking*).

Именно эта эхокардиографическая методика, получившая название двухмерная спекл-трекинг-эхокардиография, является одной из наиболее востребованных в клинической практике в настоящее время технологией оценки деформации миокарда на основе двухмерного ультразвукового изображения. Анализ деформации миокарда представляет собой новую методологию в эхокардиографии, позволяющую проводить количественную оценку как региональной, так и глобальной деформации миокарда на основе ультразвуковой деформации (стрейн) (*strain*) и скорости деформации (скорость стрейна) (*strain rate*). Благодаря использованию этой методики у кардиологов появился неинвазивный инструмент для оценки механики как отдельных сегментов миокарда, так и собственно левого желудочка с возможностью оценивать движение и деформацию миокарда и левого желудочка в разных направлениях, а также вращение отделов левого желудочка и, наконец, скручивание левого желудочка. Методика открыла перспективы для проведения исследований механики левого желудочка в условиях клиники при самых разных заболеваниях сердца, под воздействием терапии и разнообразных вмешательств. Наряду с таким исследовательским направлением использования двухмерной спекл-трекинг-эхокардио-

графии сформировалась концепция рутинного использования методики в повседневной клинической практике для оценки одной из составляющих деформации миокарда и левого желудочка, а именно продольной деформации миокарда и левого желудочка. В 2015 г. целесообразность использования показателя глобальной продольной систолической деформации левого желудочка впервые была сформулирована в международных рекомендациях по измерениям в эхокардиографии. В настоящее время во всех современных международных и отечественных рекомендациях по кардиологии в той или иной форме фигурируют показатели двухмерной спекл-трекинг-эхокардиографии в качестве показателей диагностики дисфункции сердца, особенно ранней на субклиническом уровне ряда заболеваний, для оценки прогноза течения заболеваний, а также и как эффективный способ контроля проводимого лечения. Таким образом, современный кардиолог должен не только знать и использовать в своей повседневной практике показатели спекл-трекинг-эхокардиографии, но и понимать существующие ограничения этой методики.

Первоначально методика использовалась для оценки деформации миокарда левого желудочка. Однако очень скоро эта технология была использована для оценки деформации и других камер сердца, причем с не меньшим успехом. В настоящее время существуют стандартизованные подходы для оценки всех камер сердца методом двухмерной спекл-трекинг-эхокардиографии. Новым этапом в развитии этой методики стало применение оценки деформации левого желудочка методом двухмерной спекл-трекинг-эхокардиографии при стресс-эхокардиографии.

Необходимо отметить, что наши отечественные ученые кардиологи академик В.А. Сандриков, Ю.А. Васюк, В.Э. Олейников, Е.Н. Павлюкова, М.А. Саидова и ряд других не только внесли значительный вклад в изучение деформации миокарда при различных патологических состояниях, но и способствовали популяризации и широкому внедрению этого метода в клиническую практику в нашей стране. Таким образом, разработка этого учебного пособия является необходимой для систематического преподавания двухмерной спекл-трекинг-эхокардиографии с целью формирования у кардиолога и у врача-диагноста целостного представления о механике работы сердца с позиций деформации миокарда. Автор надеется, что это учебное пособие будет способствовать дальнейшему внедрению двухмерной спекл-трекинг-эхокардиографии в клиническую практику.

Глава 1

Понятие о деформации, показатели деформации миокарда и левого желудочка

1.1. Показатели деформации: стрейн и скорость стрейна

Сокращение миокарда, как и любой мышцы, сопровождается изменением ее формы, то есть деформацией. Стрейн определяется как деформация объекта по отношению к его начальной форме. Для одномерных (линейных) объектов эта деформация может быть представлена удлинением или укорочением (рис. 1.1). Относительное изменение длины и будет являться деформацией (*strain*), которая обозначается греческой буквой ε (эпсилон) и может быть описана следующей формулой:

$$\varepsilon = (L - L_0)/L_0,$$

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

Эта величина является изменением длины относительно исходной величины, она выражается в процентах. Если происходит удлинение объекта, то деформация считается положительной величиной, укорочение – отрицательной.

Деформация миокарда, выраженная в качестве одномерного объекта, также называется стрейн (*strain*) и обозначается греческой буквой ε . В дальнейшем мы так и будем называть одномерный параметр деформации миокарда – стрейн. Если известна начальная длина изучаемого сегмента миокарда, тогда относительное изменение длины (стрейн) может быть рассчитано на протяжении всего сердечного цикла. Стрейн (%) отражает общую деформацию во время сердечного цикла по отношению к начальной длине (длине в начале сердечного цикла). Когда длина изучаемого участка миокарда возвращается к исходному значению в конце сердечного цикла, стрейн становится равным нулю. Продольное и циркулярное укорочение (систолическое) приводит к отрицательному стрейну, а радиальное (систолическое) – к положительному стрейну.

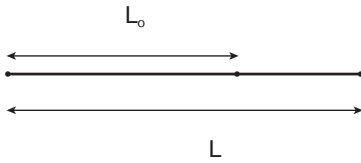


Рис. 1.1. Деформация объекта длиной L_0 представлена удлинением до L . Относительное изменение длины и будет являться деформацией (strain).

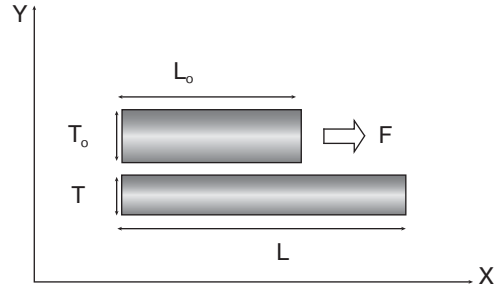


Рис. 1.2. Деформация двухмерного несжимаемого объекта длиной L_0 до L сопровождается уменьшением толщины объекта от T_0 до T . F – сила, приложенная к объекту.

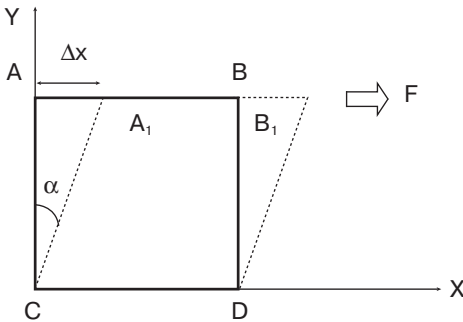


Рис. 1.3. Деформация формы двухмерного объекта. Сторона AB объекта $ABCD$ сместилась относительно стороны CD на Δx до A_1B_1 , что привело к деформации формы объекта по оси X на угол α . F – сила, приложенная к объекту.

Если длина объекта известна не только до и после деформации, но и в каждый момент времени в процессе деформации, то такой стрейн называется мгновенным. Он описывается следующей формулой:

$$\varepsilon(t) = (L(t) - L_0(t)) / L_0(t),$$

где $L(t)$ – длина объекта в момент времени t , $L_0(t)$ – длина объекта в начальный момент времени.

Именно мгновенная деформация используется в настоящее время в кардиологии большинством визуализирующих методов (эхокардиография, магнитно-резонансная томография, радиоизотопные исследования, ангиография). Все сказанное относится к линейным объектам.

Для двухмерных объектов деформация не ограничивается удлинением или укорочением в одном направлении. Деформация двухмерных объектов может происходить не только вдоль осей X и Y (рис. 1.2), но может приводить к изменению формы самого объекта (деформация формы). Деформация формы заключается в относительном смещении граней двухмерного объекта: верхней грани относительно нижней или правой грани относительно левой (рис. 1.3). Поэтому для двухмерного стрейна существуют четыре компоненты – две линейных деформации и две деформации формы.

Еще более сложной является деформация трехмерных объектов, одним из которых является сегмент миокарда. В этом случае мы будем иметь

дело с 3 линейными стрейнами (по осям X, Y и Z) и 6 деформациями формы. Для полной характеристики деформации трехмерного объекта должны быть определены все 9 компонентов деформации.

Линейные стрейны обусловлены силами, которые воздействуют перпендикулярно поверхности виртуального цилиндра, расположенного в пределах стенки миокарда, приводя к его сокращению или растягиванию без асимметричного изменения объема (см. рис. 1.2). Силы же, приводящие к деформации формы, воздействуют параллельно поверхности такого виртуального цилиндра и приводят к сдвигу граней объема относительно друг друга, что может быть выражено углом деформации α , отражающим изменение формы (см. рис. 1.3).

Скорость, с которой происходит деформация миокарда в одном измерении, называется скоростью стрейна (*strain rate*). Скорость стрейна обозначается символом ϵ' и измеряется в с^{-1} . Скорость стрейна отражает изменение стрейна за период времени. При утолщении сегмента миокарда в радиальном направлении ϵ' принимает положительное значение. Истончение сегмента в радиальном направлении характеризуется отрицательным значением ϵ' . Продольные изменения деформации сегментов миокарда (получаемые из верхушечных позиций датчика) называются терминами «скорость укорочения в систолу» (отрицательное значение ϵ') и «скорость удлинения в диастолу» (положительное значение ϵ'). При более крутом склоне кривой стрейна будут наблюдаться более высокие значения скорости стрейна. Максимальная систолическая скорость стрейна хорошо коррелирует с независимыми от преднагрузки индексами сократимости и поэтому позволяет получать ценную информацию о региональной сократительной функции.

1.2. Деформация миокарда левого желудочка сердца

После возбуждения миокарда происходит его деформация на протяжении систолы из-за укорочения саркомеров. Эта активная деформация приводит к уменьшению полости желудочков и сопровождается выбросом крови из них. В диастолу происходит восстановление исходной геометрии желудочков как вследствие активной релаксации, так и из-за пассивного наполнения во время систолы предсердий. Объем стенки желудочков остается неизменным на протяжении сердечного цикла из-за несжимаемости миокарда, и это сопровождается деформацией в трех измерениях. Во время систолы происходит деформация в трех желудочковых координатах – продольное и циркулярное укорочение и поперечное утолщение (продольное укорочение отражает движение от основания сердца к его верхушке; поперечное или радиальное сокращение по короткой оси перпендикулярно длинной оси и эпикарду (радиальный стрейн отражает утолщение и истончение миокарда); циркулярный стрейн представляет собой изменение радиуса по короткой оси, перпендикулярно продольной и поперечной осям) (рис. 1.4).

Продольная деформация оценивается из верхушечного доступа, циркулярная деформация – по короткой оси левого желудочка. Радиальный

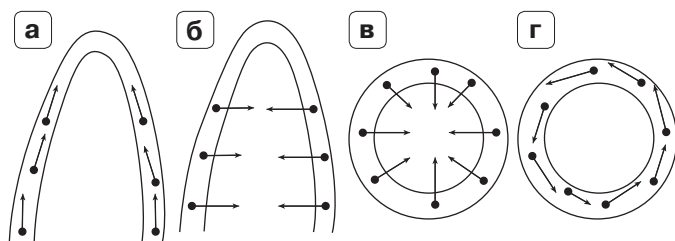


Рис. 1.4. Деформация стенок левого желудочка в трех желудочковых координатах в систолу. **а** – продольное укорочение; **б, в** – радиальное утолщение; **г** – циркулярное укорочение.

стрейн можно оценивать из верхушечного доступа и по короткой оси. Зная эти три параметра, которые возможно рассчитать с помощью технологии двухмерного стрейна, мы получаем очень ценную информацию об активном сокращении миокарда. Однако следует понимать, что это только упрощенная характеристика сокращения, так как сегмент миокарда представляет собой трехмерный объект. Если рассматривать деформацию миокарда в трехмерном пространстве в виде виртуального цилиндра, в дополнение к этим трем линейным стрейнам существуют 6 деформаций формы (по 2 для каждого измерения).

Значение локального конечного систолического стрейна отражает локальную функцию сегмента миокарда, а глобальный конечный систолический стрейн отражает систолическую функцию всего левого желудочка. Для оценки сократимости миокарда используются разнообразные показатели, и степень отражения сократимости этими показателями различна. Важно знать, что хотя стрейн и скорость стрейна в наибольшей степени подходят для оценки систолической функции (особенно локальной сократительной функции), они не являются мерой собственно сократимости, так как деформация зависит от пред- и постнагрузки, частоты сердечных сокращений, геометрии левого желудочка и его эластичности, влияния соседних сегментов. Сократимость, если ее рассматривать как основное свойство миокарда, отражающее собственную его активность, а не условия пред- и постнагрузки, представляет собой зависимость деформации от приложенной нагрузки.

Изменения стрейна и скорости стрейна на протяжении сердечного цикла. При анализе графика стрейна на протяжении сердечного цикла можно выделить несколько фаз. Во время *систо́лы* значение стрейна становится отрицательным (волна S) с максимумом в момент закрытия аортального клапана (рис. 1.5). Это значение стрейна соответствует максимальному продольному укорочению миокарда во время сокращения (максимальный систолический стрейн).

В *диасто́лу* значения стрейна возвращаются к нулю (к начальной длине анализируемого сегмента миокарда в начале сердечного цикла) на протяжении трех фаз: фаза раннего или быстрого наполнения (Е-волна), за которой следует фаза плато, или диастазиса, и, наконец, фаза предсердного наполнения (А-волна).

По сравнению со стрейном при анализе кривой скорости стрейна можно выделить те же фазы сердечного цикла, которые выглядят по-другому (рис. 1.6).

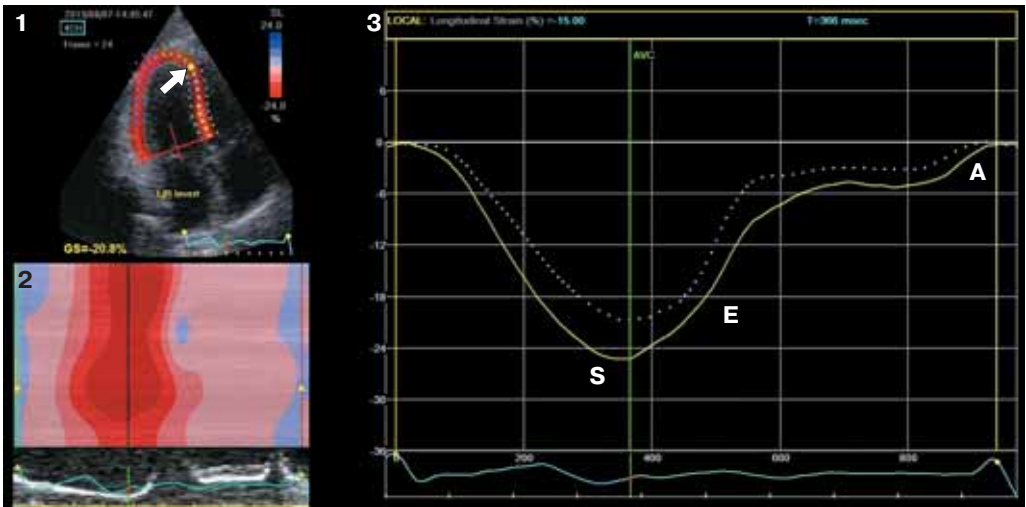


Рис. 1.5. Спекл-трекинг-эхокардиография. **1** – анализ из верхушечного доступа в четырехкамерной позиции. Зона анализа: миокард левого желудочка. Желтым кружком обозначен верхушечный перегородочный сегмент миокарда, который используется для построения графика продольной деформации миокарда левого желудочка (показан стрелкой); **2** – параметрическая кривая продольной деформации миокарда левого желудочка; **3** – график продольной деформации миокарда левого желудочка на протяжении сердечного цикла верхушечного перегородочного сегмента (S – максимальный систолический стрейн, E – фаза раннего или быстрого наполнения, A – фаза предсердного наполнения, AVC – закрытие аортального клапана).

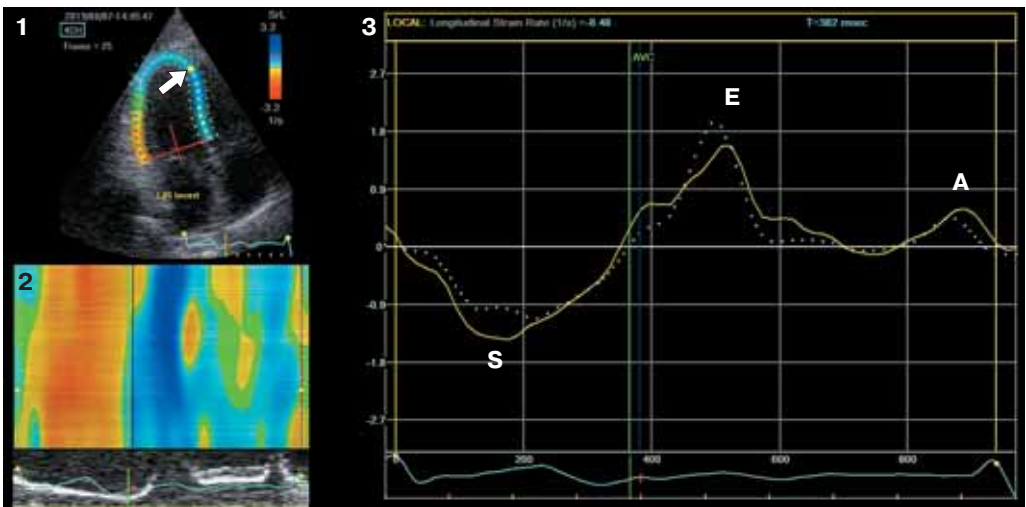


Рис. 1.6. Спекл-трекинг-эхокардиография. **1** – анализ из верхушечного доступа в четырехкамерной позиции. Зона анализа: миокард левого желудочка. Желтым кружком обозначен сегмент миокарда, который используется для построения графика скорости продольной деформации миокарда левого желудочка (показан стрелкой); **2** – параметрическая кривая скорости продольной деформации миокарда левого желудочка; **3** – график скорости продольной деформации миокарда левого желудочка на протяжении сердечного цикла верхушечного перегородочного сегмента (S – отрицательная волна в систолу. В диастолу регистрируются две положительные волны E и A, соответствующие максимальной скорости стрейна в раннюю и позднюю диастолу. Обозначения как на рис. 1.5).

Отрицательная волна в систолу соответствует укорочению миокарда, а систолический пик скорости стрейна отражает самую крутую часть кривой стрейна в систолу. В диастолу регистрируются две положительные волны E и A и диастазис, когда отсутствует изменение стрейна.

1.3. Ультразвуковые способы оценки деформации миокарда

В настоящее время существуют два различных способа расчета деформации миокарда с помощью ультразвука: доплеровская визуализация тканей и спекл-трекинг-эхокардиография. Доплеровская визуализация тканей позволяет регистрировать и рассчитывать скорость движения тканей относительно датчика в каждом пикселе изображения. При регистрации в продольном направлении наблюдается постепенное увеличение скорости движения миокарда от относительно неподвижной верхушки желудочка к его основанию вплоть до максимальных значений в области

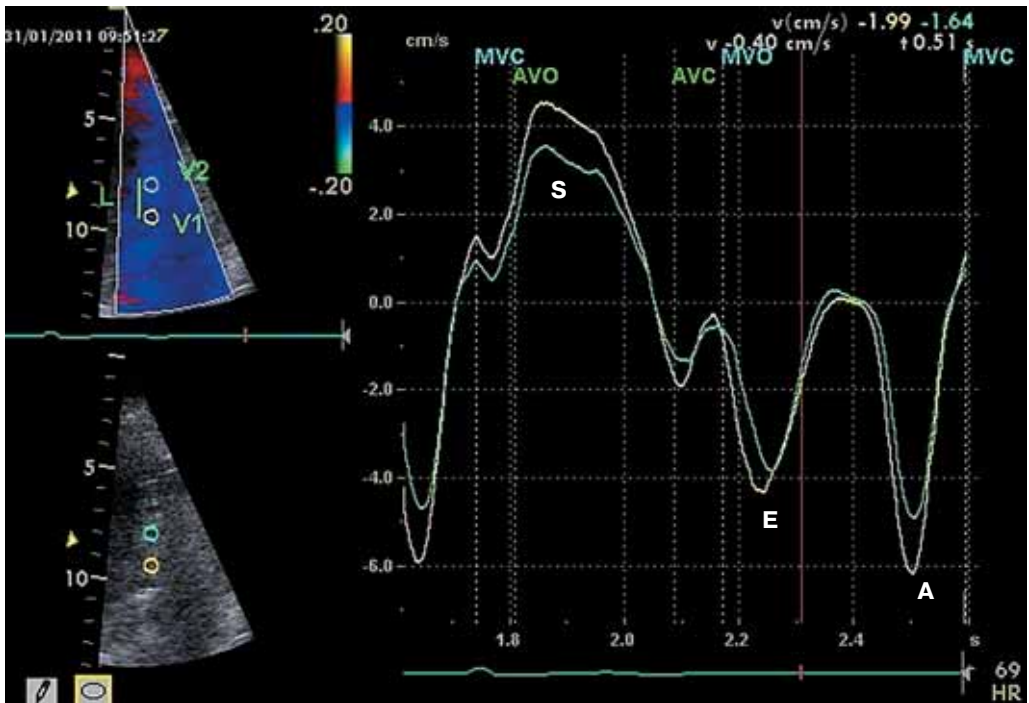


Рис. 1.7. При использовании доплеровской визуализации тканей скорость деформации миокарда рассчитывается на основе пространственного градиента скоростей между двумя соседними точками миокарда (V1 и V2), расположенными на расстоянии L. Пример двух кривых скорости движения миокарда из двух соседних точек межжелудочковой перегородки, расположенных на расстоянии L, зарегистрированных в режиме доплеровской визуализации тканей из верхушечного доступа на 4 камеры с фокусом на межжелудочковую перегородку. S – максимальный систолический стрейн, E – фаза раннего, или быстрого, наполнения, A – фаза предсердного наполнения, AVO – открытие аортального клапана, AVC – закрытие аортального клапана, MVO – открытие митрального клапана, MVC – закрытие митрального клапана.

фиброзного кольца, которое называется внутрижелудочковым градиентом и обусловлено продольным укорочением миокарда. Скорость стрейна миокарда рассчитывается на основе пространственного градиента скоростей между двумя соседними точками миокарда по формуле:

$$\varepsilon' = (V1-V2)/L,$$

где L – расстояние между точками 1 и 2, V1 и V2 – скорости движения в этих точках (рис. 1.7).

Исходя из этой формулы очевидно, что если во время систолы не происходит деформации миокарда в анализируемой зоне интереса, тогда нет разницы скоростей, и скорость стрейна будет равна нулю. В то же время миокард в этой зоне интереса может смещаться с какой-то скоростью за счет подтягивания соседними функционирующими сегментами. Такая ситуация может наблюдаться при анализе некротизированных или рубцовых участков миокарда. Такое смещение недеформируемого миокарда за счет подтягивания может создавать впечатление нормальной функции, если ориентироваться только на скорость движения, но регистрация стрейна и скорости стрейна позволяет все расставить на свои места и дифференцировать пассивное движение участка миокарда от его активной деформации.

Допплеровская визуализация тканей по своей сути одномерна и позволяет рассчитать деформацию из скорости движения миокарда только в направлении ультразвукового луча. Поэтому доплеровская визуализация тканей позволяет оценивать только продольные стрейн и скорость стрейна из верхушечных позиций и только поперечные стрейн и скорость стрейна из парастернального доступа.

Однако деформация миокарда происходит в трех желудочковых координатах: продольное, циркулярное укорочение и радиальное утолщение. Спекл-трекинг-эхокардиография позволяет оценивать деформацию в разных направлениях, в отличие от доплеровской визуализации тканей. В этом и заключается одно из основных преимуществ спекл-трекинг-эхокардиографии по сравнению с доплеровской визуализацией тканей.