

М.Н. Алехин

Ультразвуковые
методы оценки
деформации миокарда
и их клиническое значение

УДК 616.127-073.431
ББК 53.6 (54.101)
А 49



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

Алехин М.Н.

А 49 Ультразвуковые методы оценки деформации миокарда и их клиническое значение. – Москва: Издательский дом Видар-М, 2012. – 88 с.: ил. ISBN 978-5-88429-164-5

Книга посвящена ультразвуковым методам оценки и диагностики деформации миокарда: доплеровской визуализации тканей и технологии двухмерного отслеживания пятен серой шкалы ультразвукового изображения миокарда. Представлены возможности оценки вращения и скручивания левого желудочка на основе технологии двухмерного отслеживания пятен серой шкалы ультразвукового изображения миокарда. Приводятся нормальные значения показателей деформации миокарда левого желудочка, а также данные об изменениях показателей деформации миокарда и скручивания левого желудочка при разнообразных патологических и некоторых физиологических состояниях, таких как гипертрофия желудочков, сердечная недостаточность, инфаркт миокарда, пороки сердца и кардиомиопатии. Обсуждаются вопросы дифференциальной диагностики с использованием показателей деформации миокарда. Освещается прогностическое значение показателей деформации миокарда и скручивания левого желудочка. Представлены основные ограничения методов.

Книга предназначена для кардиологов, врачей ультразвуковой и функциональной диагностики.

**УДК 616.127-073.431
ББК 53.6 (54.101)**

Рецензент: Рыбакова Марина Константиновна, доктор медицинских наук, профессор кафедры ультразвуковой диагностики ГБОУ ДПО «Российская медицинская академия последипломного образования Росздрава»

ISBN 978-5-88429-164-5

© М.Н. Алехин, 2012
© Оформление. «Издательский дом
Видар-М», 2012

Оглавление

Предисловие	5
Введение	7
Глава 1. Основные положения	9
Параметры деформации – стрейн и скорость стрейна	9
Деформация миокарда	11
Изменения стрейна и скорости стрейна на протяжении сердечного цикла	13
Список литературы	14
Глава 2. Допплеровская визуализация тканей в оценке деформации миокарда	17
Принцип расчета стрейна на основе доплеровской визуализации тканей	17
Варианты представления деформации миокарда	18
Регистрация данных	20
Обработка данных	24
Показатели деформации	29
Ограничения доплеровской визуализации тканей при оценке деформации миокарда	31
Список литературы	33
Глава 3. Двухмерное отслеживание пятен серой шкалы ультразвукового изображения миокарда в оценке его деформации и скручивания	35
Двухмерный стрейн на основе отслеживания пятен серой шкалы ультразвукового изображения миокарда	35
Регистрация изображения при использовании технологии двухмерного отслеживания пятен	36
Этапы последующей обработки	40
Ограничения технологии двухмерного отслеживания пятен	45
Преимущества технологии двухмерного отслеживания пятен по сравнению с доплеровской визуализацией тканей	48
Показатели вращения левого желудочка	49

Ограничения для параметров вращения и скручивания	51
Параметры деформации нормального миокарда	52
Параметры деформации патологического миокарда	54
Список литературы	55
Глава 4. Клиническое значение показателей деформации и вращения миокарда	57
Гипертрофия левого желудочка	57
Инфаркт миокарда	58
Сердечная недостаточность	60
Постсистолическое утолщение	61
Бессимптомное поражение сердца при системных заболеваниях	64
Аортальный стеноз	64
Аортальная недостаточность	66
Митральная недостаточность	66
Гипертрофическая кардиомиопатия	67
Дилатационная кардиомиопатия	68
Рестриктивные кардиомиопатии	71
Заболевания перикарда	71
Показатели деформации миокарда в оценке диссинхронии	71
Показатели деформации правого желудочка	74
Показатели деформации предсердий	75
Заключение	79
Список литературы	79

Предисловие

Сокращение миокарда приводит к целому комплексу движений и изменений миокарда и других структур сердца, которые можно описывать такими разнообразными количественными показателями, как перемещение, объемы, давление и скорость их изменений. Ультразвуковые методы диагностики позволяют проводить измерения этих показателей неинвазивно, что в значительной степени определяет распространенность и популярность эхокардиографии в кардиологии. В последние годы появилась возможность измерять и оценивать этими методами деформацию миокарда, чтобы получить целостное представление о механике сокращения различных зон миокарда. До недавнего времени оценка деформации миокарда была возможной только с применением магнитно-резонансной томографии, которая не позволяла ее широко использовать из-за присущих этому методу исследований ограничений и малой его распространенности.

Эта книга посвящена современным неинвазивным ультразвуковым методам диагностики деформации миокарда. Термин «деформация» применительно к кардиологии может восприниматься читателем как какое-то структурное нарушение миокарда, обусловленное патологическим процессом, по аналогии с уже устоявшимся термином «ремоделирование». В данной книге речь идет о деформации миокарда как количественной мере сократимости сердечной мышцы (в основном локальной). Сокращение сердечной мышцы приводит к ее утолщению в поперечном направлении и ее укорочению в продольном направлении. Совокупность этих изменений и представляет собой функциональную деформацию, которой посвящена эта книга. Конечно, сократительная активность сердца основывается на сократимости отдельных зон миокарда, и поэтому их совокупная оценка позволяет говорить об общей деформации той или иной камеры сердца или зон миокарда конкретного сосудистого бассейна. Таким образом, деформация миокарда это не какая-то его патологическая перестройка, а присущие миокарду циклические изменения, отражающие состояние его основной сократительной функции.

Возможности ультразвуковых методов диагностики открывают новые перспективы в изучении деформации миокарда как показателя, непосредственно отражающего собственно сократимость миокарда, а не опосредованно через скорости перемещения и изменения объемов камер сердца и давления в них. Очевидно, что для эффективного использования этих

новых технологий врачу-исследователю необходимо овладение методологией их применения и знание возможных ограничений методов. Несмотря на то что клиническое значение ультразвуковых методов для оценки деформации миокарда еще только находится в стадии изучения, уже сегодня имеются данные об их возможностях в диагностике и оценке прогноза в различных группах больных. Этому и посвящена данная книга.

*Заслуженный деятель науки РФ,
профессор Б.А. Сидоренко*

Введение

Одной из основных задач инструментальной диагностики в кардиологии является оценка функции сердца. Для решения этой задачи используются различные методы исследований, предложено большое количество разнообразных показателей, позволяющих выполнять количественную оценку систолической и диастолической функций сердца. Универсального и всеобъемлющего показателя, характеризующего все аспекты функции сердца, не существует, практически каждый из показателей имеет свои ограничения. В последние годы исследователями уделяется все возрастающее внимание показателям деформации миокарда, что в немалой степени связано с появившейся возможностью их изучения ультразвуковыми методами диагностики [1–4].

В 80-е годы XX столетия I. Mirsky и W.W. Parmley [5] сформулировали концепцию деформации миокарда применительно к изучению жесткости миокарда. G.R. Sutherland и соавт. [6] предложили использовать цветовое картирование для доплеровского анализа движения миокарда. В те же годы A.D. Fleming и соавт. [7] представили возможности оценки сократимости миокарда, исходя из градиента скорости миокарда. В 1997 г. A. Heimdal и соавт. [8] предложили анализ деформации и скорости деформации миокарда в реальном режиме времени как новую технологию доплеровской визуализации тканей. Впоследствии исследователи из Норвежского университета науки и технологий опубликовали основополагающую концепцию [9] и продемонстрировали возможности практического применения скорости деформации в эхокардиографии на основе доплеровской визуализации тканей. Наряду с этим был предложен метод оценки деформации миокарда на основе двумерного ультразвукового изображения, который базируется на технологии отслеживания пятен [10–12].

В настоящее время интенсивно накапливаются данные о клиническом значении показателей деформации миокарда в различных группах пациентов и при различных состояниях сердца.

Эта книга написана с целью ознакомить практических врачей с ультразвуковыми методиками определения показателей деформации миокарда, представить методологию применения этих методик с учетом имеющихся ограничений их использования и показать клиническое значение показателей деформации миокарда.

*Автор выражает благодарность своим коллегам
Л.В. Зверевой и А.О. Калинину
за помощь и предоставленные демонстрационные материалы.*

Глава 1

Основные положения

Изучение деформации тканей представляет собой новую методологию в эхокардиографии, позволяющую проводить количественную оценку региональной деформации миокарда на основе ультразвуковой деформации (стрейн, англ. *strain*) и скорости деформации (скорость стрейна, англ. *strain rate*). В настоящее время для этого используются технологии доплеровской визуализации тканей или двумерного ультразвукового изображения.

Параметры деформации – стрейн и скорость стрейна

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:

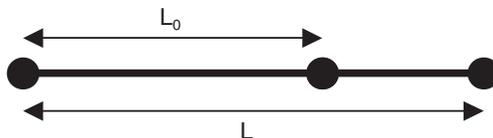
$$\varepsilon = (L - L_0)/L_0,$$

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

Эта величина является изменением длины относительно исходной величины и поэтому она выражается в процентах. Если происходит удлинение объекта, то деформация считается положительной величиной, если укорочение – то 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, то относительное изменение длины (стрейн) может быть рассчитано на протяжении всего сердечного цикла. Стрейн (в %) отражает

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



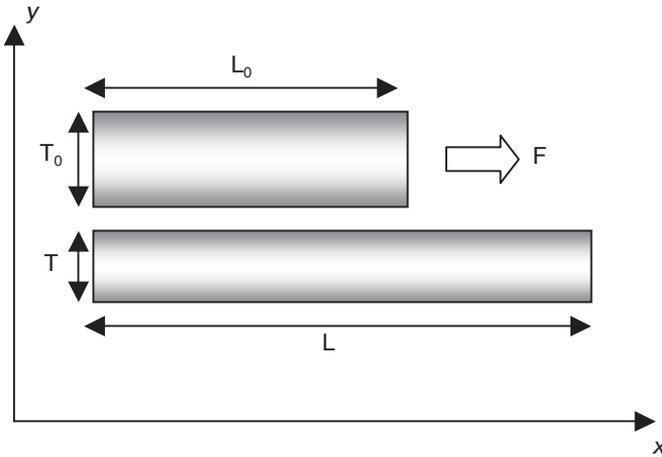


Рис. 1.2. Деформация двухмерного несжимаемого объекта длиной L_0 до L сопровождается уменьшением толщины объекта от T_0 до T . F – сила, приложенная к объекту.

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 систолическое укорочение приводит к отрицательному стрейну, а радиальное систолическое – к положительному стрейну.

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:

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

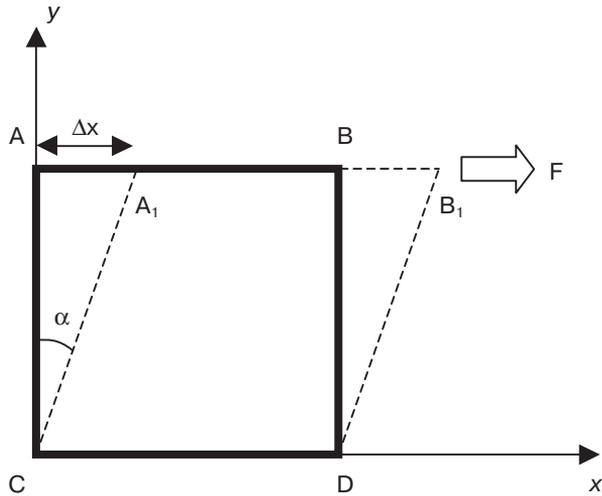
где $L(t)$ – длина объекта в момент времени t , $L_0(t)$ – длина объекта в начальный момент времени.

Именно мгновенная деформация используется в кардиологии в настоящее время в большинстве 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 4 компоненты – 2 линейные деформации и 2 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.

Рис. 1.3. Деформация формы двумерного 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.



Линейные стрейны обусловлены силами, которые действуют перпендикулярно поверхности виртуального цилиндра, расположенного в пределах стенки миокарда, приводя к его сокращению или растягиванию без асимметричного изменения объема (см. рис. 1.2). При этом силы, 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 s^{-1} . Скорость стрейна отражает изменение стрейна за отрезок 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) обозначаются терминами «скорость укорочения в систолу» (отрицательное значение ϵ') и «скорость удлинения в диастолу» (положительное значение ϵ'). При более крутом наклоне 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.

Деформация миокарда

После возбуждения миокарда происходит его деформация на протяжении систолы из-за укорочения саркомеров. Эта активная деформация приводит к уменьшению полости желудочков и сопровождается выбросом кро-

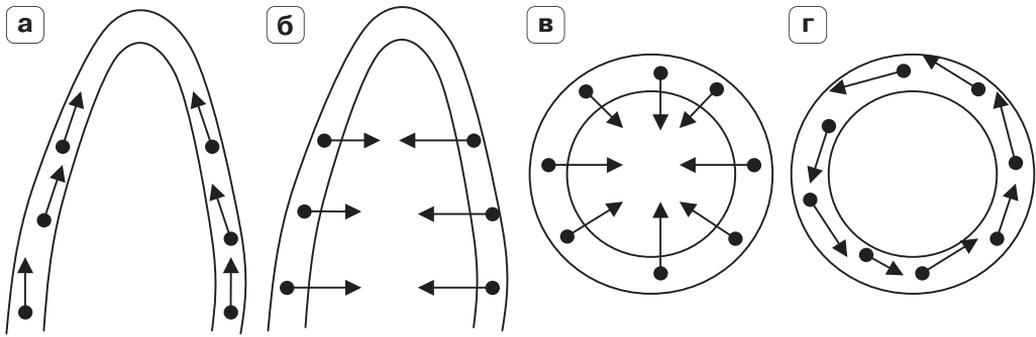


Рис. 1.4. Деформация стенок левого желудочка в трех желудочковых координатах в систолу. **а** – продольное укорочение; **б, в** – радиальное утолщение; **г** – циркулярное укорочение.

ви из них. В диастолу происходит восстановление исходной геометрии желудочков как в результате 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 координатах желудочков – 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 стрейн можно оценивать из верхушечного доступа и по короткой оси. Зная эти 3 параметра, которые возможно рассчитать с помощью технологии двухмерного стрейна, мы получаем очень ценную информацию об активном сокращении миокарда. Однако следует учитывать, 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, то в дополнение к этим трем линейным стрейнам можно выделить 6 деформаций формы (по 2 для каждого измерения).

Значение локального конечного систолического стрейна отражает локальную фракцию выброса, а глобального конечного систолического стрейна – фракцию выброса 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 его собственную 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 продольного стрейна на протяжении сердечного цикла можно выделить несколько фаз. Во время *систолы* 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 *диастолу* значения стрейна возвращаются к нулю (к исходной длине анализируемого сегмента миокарда в начале сердечного цикла) на протяжении трех фаз: фаза раннего, или быстрого, наполнения (E-волна), за ко-

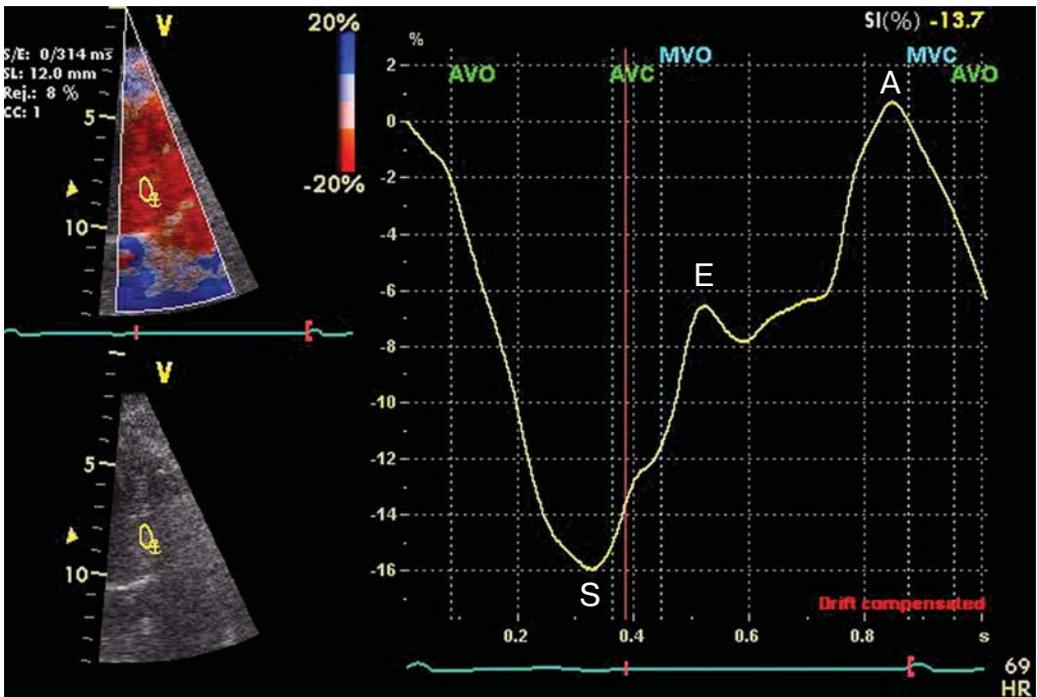


Рис. 1.5. График продольного стрейна на протяжении сердечного цикла. S – максимальный систолический стрейн, E – фаза раннего, или быстрого, наполнения, A – фаза предсердного наполнения. AVO – открытие аортального клапана, AVC – закрытие аортального клапана, MVO – открытие митрального клапана, MVC – закрытие митрального клапана.

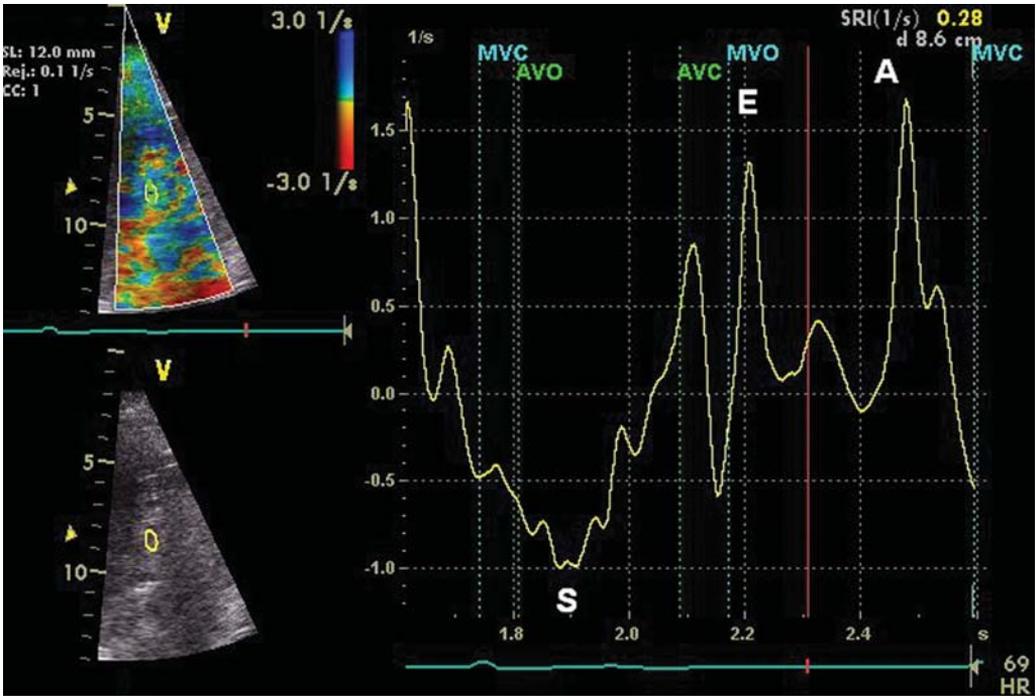


Рис. 1.6. График скорости продольного стрейна на протяжении сердечного цикла. S – отрицательная волна в систолу. В диастолу регистрируются 2 положительные волны E и A, соответствующие максимальной скорости стрейна в раннюю и позднюю диастолу. Остальные обозначения те же, что и на рис. 1.5.

торой следует фаза плато, или диастазиса, и, наконец, фаза предсердного наполнения (A-волна).

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

Для оптимальной оценки локальной деформации миокарда необходимо иметь информацию как о стрейне, так и о скорости стрейна, поскольку эти параметры дополняют друг друга. Конечный систолический стрейн позволяет судить о фракции выброса, а скорость стрейна – о сократимости.

Список литературы

1. Perk G., Tunick P.A., Kronzon I. Non-Doppler two-dimensional strain imaging by echocardiography – from technical considerations to clinical applications // J. Am. Soc. Echocardiogr. 2007. V. 20. N 3. P. 234–243.