



# Возможности применения *speckle tracking* эхокардиографии для оценки функции миокарда плода

## Часть 2. Параметры оценки сократительной функции миокарда

С.И. Бурякова, М.В. Медведев

Академия постдипломного образования ФГБУ ФНКЦ ФМБА России, Москва

**Ключевые слова:** плод, пренатальная эхокардиография, деформация миокарда, *speckle tracking*

В статье рассматриваются параметры оценки сократительной функции миокарда и современные возможности применения *speckle tracking* эхокардиографии для исследования сердца плода.

Статья была опубликована в журнале «Пренатальная диагностика», 2020; 19 (1): 9—15.

## Параметры сократимости миокарда

К основным параметрам сократимости сердца с позиции механики относятся: смещение, скорость, деформация, скорость деформации, ротация и скручивание [1].

Смещение — это параметр, характеризующий расстояние, на которое смещается точка или кардиальная структура между двумя последовательными кадрами. Скорость — это смещение точки или кардиальной структуры за единицу времени (см/с). Деформация (стрейн, англ. *strain*) — изменение длины миокардиального волокна относительно исходного, выражается в процентах. Под первоначальной длиной подразумевается длина ненагруженной (вне деформации) мышцы. Если происходит удлинение объекта, то деформация считается положительной величиной, укорочение — отрицательной [2–4].

Стрейн обозначается греческой буквой  $\varepsilon$  (эпсилон) и может быть описан следующей формулой:

$$\varepsilon = (L_1 - L_0) / L_0,$$

где  $L_1$  — длина объекта после деформации,  $L_0$  — исходная длина объекта.

Когда длина изучаемого участка миокарда возвращается к исходному значению в конце сердечного цикла, стрейн становится равным нулю.

Если длина объекта известна не только до и после деформации, но и в каждый момент времени в процессе деформации, то такой стрейн называется мгновенным. Мгновенная деформация используется в настоящее время в большинстве методов кардиологии (эхокардиография, магнитно-резонансная томография, ангиография, радиоизотопные исследования) [1].

Для двумерных объектов деформация не ограничивается удлинением или укорочением в одном направлении, поэтому для двумерного стрейна существуют 4 компоненты: 2 линейные деформации и 2 деформации формы. Еще более сложной является деформация трехмерных объектов [3]. На сегодняшний день трехмерная *speckle tracking* эхокардиография находится на этапе изучения для внедрения в клиническую практику. В дальнейшем мы будем вести речь о двумерной *speckle tracking* эхокардиографии.

Во время систолы желудочка происходит продольное и циркулярное укорочение и поперечное утолщение. Таким образом, выделяют следующие виды стрейна в зависимости от направления движения:

- продольный (деформация от основания сердца к его верхушке);
- радиальный (деформация от периферии к центру полости);
- циркулярный (деформация по периметру короткой оси).

Продольное и циркулярное укорочение (систолическое) приводит к отрицательному стрейну, а радиальное (систолическое) — к положительному стрейну [1–4].

Кроме того, выделяют виды стрейна в зависимости от анализируемых анатомических территорий:

- сегментарный (деформация сегмента желудочка);
- средний (среднее значение деформации всех сегментов, входящих в один ультразвуковой срез);
- глобальный (среднее значение деформации всех сегментов во всех анализируемых срезах) [1].

При анализе графика стрейна на протяжении сердечного цикла выделяют несколько фаз. Во время систолы значение стрейна становится отрицательным (волна S) с максимумом в момент закрытия аортального клапана (рис. 1).

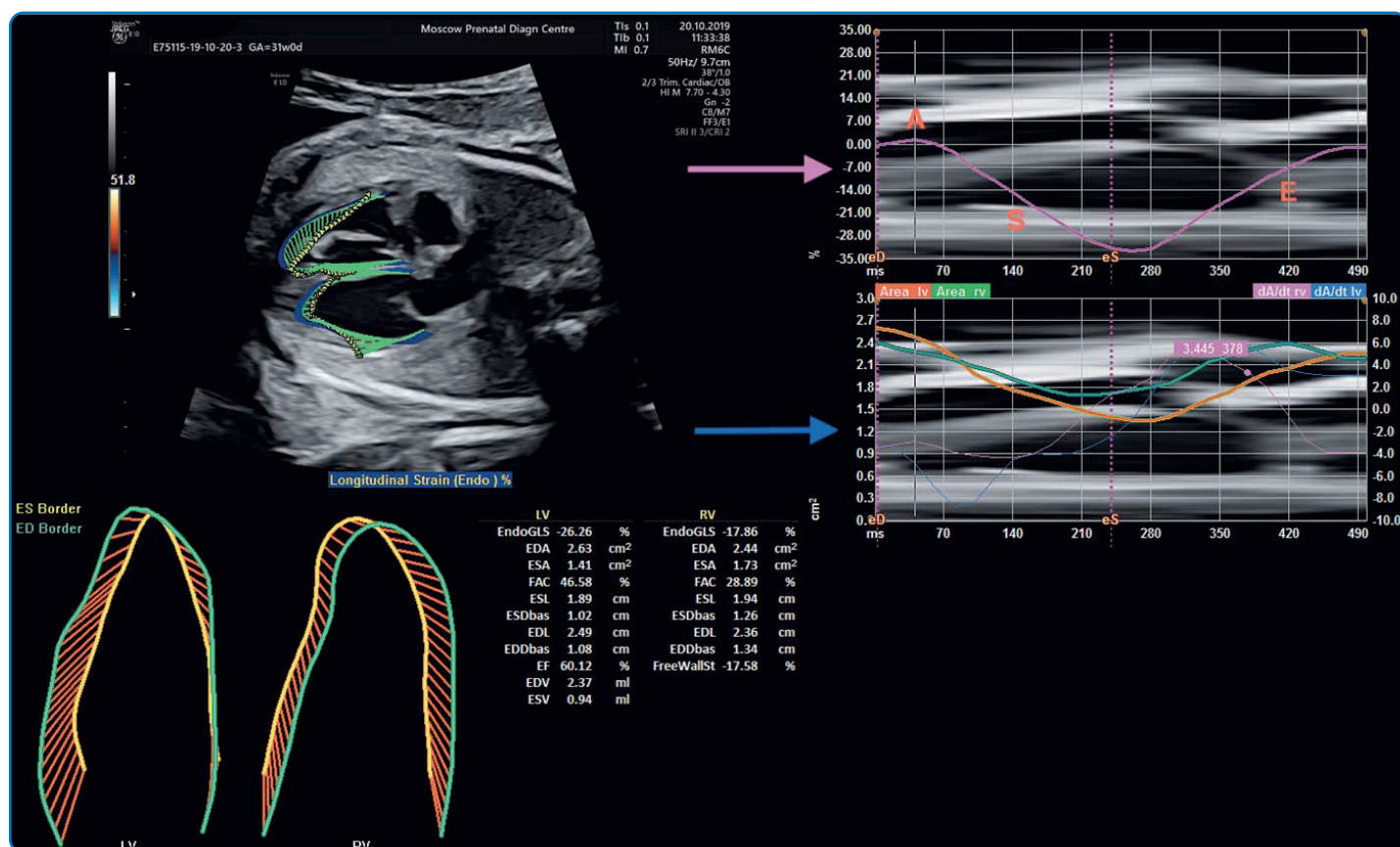


Рис. 1. Исследование сердца плода с помощью *Fetal HQ*. Розовая стрелка указывает на график глобального циркулярного стрейна левого желудочка (*lv EndoGCS*) на протяжении сердечного цикла. Синяя стрелка указывает на графики изменения площадей (*area*) ЛЖ (*LV*) и ПЖ (*RV*) (волна S — отрицательное значение стрейна во время систолы, волна E — фаза быстрого наполнения в диастолу, волна A — фаза предсердного наполнения, eD — конечная диастола, eS — конечная систола)

Это максимальный систолический стрейн, который соответствует максимальному укорочению миокарда во время сокращения. В диастолу значения стрейна возвращаются к нулю на протяжении трех фаз: фазы раннего, или быстрого, наполнения (волна E), за которой следует фаза плато, или диастазиса, и фаза предсердного наполнения (волна A) [1, 3, 4].

Скорость, с которой происходит деформация миокарда в одном измерении, называется скоростью стрейна (*strain rate*). Два объекта могут иметь одинаковый стрейн (деформацию), но разную скорость [1]. Скорость стрейна обозначается символом  $\epsilon'$  и измеряется в 1/с. При утолщении сегмента миокарда в радиальном направлении  $\epsilon'$  принимает положительное значение. Истончение сегмента в радиальном направлении характеризуется отрицательным значением  $\epsilon'$ . Продольные изменения деформации сегментов миокарда называются терминами «скорость укорочения в систолу» (отрицательное значение  $\epsilon'$ ) и «скорость удлинения в диастолу» (положительное значение  $\epsilon'$ ) [1, 3].

Ротация — вращение плоскости левого желудочка (ЛЖ) вокруг длинной оси, если смотреть со стороны верхушки сердца, измеряется в градусах (°). Скручивание происходит за счет того, что основание сердца и верхушка движутся в противоположных направлениях — образуется градиент угла ротации (*twist*) между основанием и верхушкой вдоль длинной оси ЛЖ (°/см) [1].

Среди всех параметров оценки миокардиальной функции деформация и скорость деформации наиболее информативны, так как на их измерение не влияет сокращение соседних сегментов, создающих эффект привязывания. При этом понятия деформации и скорости деформации миокарда не являются эквивалентами понятия сократимости, так как сократимость — это зависимость деформации от приложенной нагрузки [1–4].

Согласно результатам проведенных исследований, в качестве ориентира нормальной величины глобальной продольной деформации у взрослых принята –20,0 % (по разным данным, от –16,7 ± 4,1 до –22,1 ± 2,0) [5, 6]. У женщин абсолютные значения деформации миокарда более высокие, а с возрастом глобальная деформация уменьшается. Нормальные значения скорости продольной деформации у взрослых варьируют от –1,03 ± 0,27/с до 1,45 ± 0,20/с [6].

## Современные возможности оценки сердца плода с применением *speckle tracking* эхокардиографии

В настоящее время метод фетальной *speckle tracking* эхокардиографии вызывает большой интерес у специалистов пренатальной ультразвуковой диагностики во всем мире. А.А. Alsolai и соавт. [7] показали, что оценка деформации миокарда возможна на поздних сроках беременности и может быть полезна в качестве дополнения для изучения сердечной функции плода. Полученные в результате проведенного исследования значения глобального продольного стрейна (ГПС) и скорости стрейна у здоровых плодов составили в 36 нед –14,2 ± 3,4 % и –1,2 ± 0,2/с, а в 40 нед составили –12,8 ± 2,8 % и –1,1 ± 0,2/с соответственно и статистически значимо уменьшались с увеличением гестационного возраста ( $P < 0,001$ ).

J.O. Miranda и соавт. [8] провели оценку функции миокарда у 12 плодов с коарктацией аорты. Средний срок гестации составил 25 ± 4 нед. Установлено, что плоды с коарктацией имели более низкий систолический ГПС ЛЖ, а также

систолическую и диастолическую скорости стрейна (медианы соответственно –10,10 %; –0,93/с и 0,92/с) по сравнению с контрольными плодами, подобранными по гестационному возрасту (медианы соответственно –16,70 %; –1,43/с и 1,52/с;  $P < 0,05$ ).

J. Cohen и соавт. [9] проанализировали показатели деформации миокарда в 57 случаях атрезии легочной артерии (АЛА) с интактной межжелудочковой перегородкой (ИМП). Средний срок наблюдения составил 26,5 ± 5,0 нед. ГПС ЛЖ был снижен у плодов с АЛА/ИМП (–17,4 ± 1,7 %) по сравнению с группой контроля (–23,7 ± 2,0 %;  $P < 0,001$ ). Скорость деформации ЛЖ также была более низкой (–1,01 ± 0,21/с и –1,42 ± 0,20/с;  $P < 0,001$ ). ГПС правого желудочка (ПЖ) у плодов с АЛА/ИМП (–11,6 ± 3,8 %) был значительно ниже, чем в группе контроля (–24,6 ± 2,5 %,  $P < 0,0001$ ). У 10 новорожденных с правосторонним желудочкозависимым коронарным кровообращением выявлены более низкие значения ГПС ЛЖ (–15,8 ± 1,2 %) и ГПС ПЖ (–7,0 ± 2,9 %) по сравнению с пациентами без правостороннего желудочкозависимого коронарного кровообращения (ГПС ЛЖ 17,9 ± 1,7 %;  $P = 0,009$  и ГПС ПЖ –12,1 ± 3,2 %;  $P = 0,0004$ ).

Исследования, проведенные O. Patey и соавт. [10–12], показали, что доношенные плоды с замедлением роста и диабетической фетопатией по сравнению со здоровыми плодами имели статистически значимые различия ( $P < 0,001$  для всех групп) показателей миокардиальной деформации, а также показателей скручивания ЛЖ.

Таким образом, в ряде научных работ была доказана возможность применения *speckle tracking* эхокардиографии для оценки функции сердца и прогнозирования перинатальных исходов при различных патологических состояниях плода. При этом расхождения в количественных значениях показателей деформации у разных авторов были вызваны использованием различного оборудования, программного обеспечения, особенностями настроек ультразвуковой аппаратуры и отсутствием нормативных значений в зависимости от постоянных показателей, таких как срок беременности или результаты фетометрии.

Большой вклад в разработку методики фетальной *speckle tracking* эхокардиографии в виде программного обеспечения *Fetal HQ* (Voluson, GE) для исследования сердца плода был внесен G.R. DeVore и соавт. [13]. Ими представлен практический подход к анализу деформации сердца плода и предложены индексы оценки функции миокарда с референсными значениями в сравнении с независимыми переменными (гестационным возрастом, бипариетальным размером, окружностями головы и живота, длиной бедренной кости плода и полученным по результатам измерений ультразвуковым сроком беременности), проведена оценка клинической значимости исследования на выборке плодов с врожденными пороками сердца и замедлением роста плода [14, 15].

## Основные показатели, используемые в *Fetal HQ* для оценки функции миокарда плода

Конечная систолическая и диастолическая продольные (базально-апикальные) длины измеряются как расстояния от середины линии, проведенной от межжелудочковой перегородки (МЖП) к боковой стенке на уровне прикрепления створок атриовентрикулярных клапанов, до верхушки сердца в систолу и диастолу. Конечные диастолические поперечные длины (диаметры) желудочков измеряются на уровне каждого из 24 выделенных сегментов в диастолу [16].

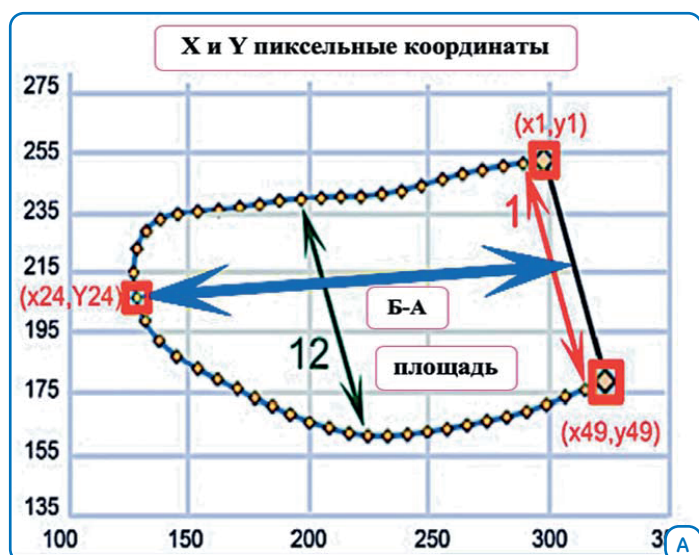


Рис. 2. А — количественная оценка площади желудочка с помощью *speckle tracking* эхокардиографии. Координаты  $x$  и  $y$  для точек с 1 по 49 представляют контур эндокардиальной границы (Б-А — базально-апикальная длина, 1 — конечная поперечная диастолическая длина у основания (сегмент 1), 12 — конечная поперечная диастолическая длина в средней части (сегмент 12)) (по G.R. DeVore). Б — с помощью *Fetal HQ* проведено измерение конечных поперечных диастолических длин для каждого из 24 сегментов ЛЖ

Площадь желудочков рассчитывается путем применения алгоритма для области неправильного многоугольника:

$$area = \frac{(x_1 y_2 - y_1 x_2) + (x_2 y_3 - y_2 x_3) + \dots + (x_{48} y_{49} - y_{48} x_{49})}{2}$$

Результаты измерений будут представлены в отчете программного обеспечения *Fetal HQ* в виде процентильных значений и  $Z$ -score в зависимости от фетометрических показателей плода и срока гестации (рис. 1, 2).

Конечный диастолический объем (EDV) левого желудочка рассчитывается с помощью метода анализа дисков Симпсона [16]. При этом конечная диастолическая продольная длина (КДД) измеряется от основания до вершины желудочка, затем полученное значение делится на 24 поперечных сегмента. После измерения поперечной ширины (диаметра) каждого из 24 сегментов, перпендикулярных КДД, радиус каждого сегмента рассчитывается путем деления диаметра на 2. Площадь для каждого из 24 сегментов вычисляется по уравнению:

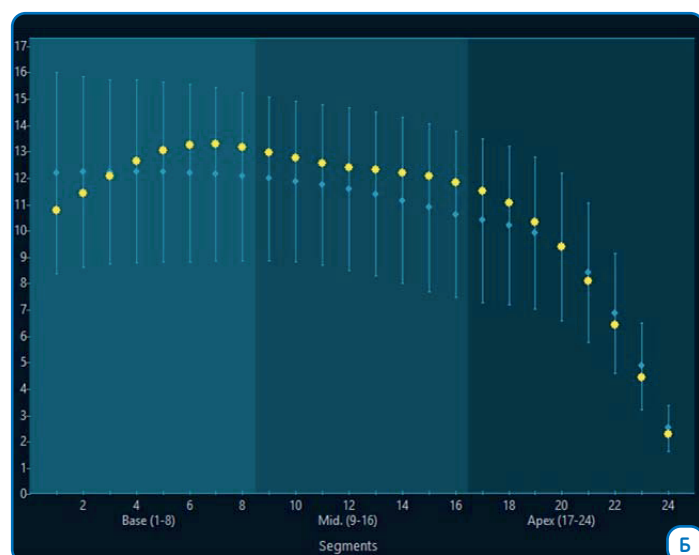
$$R_2 \times 3,14159.$$

Объем диска для каждого из 24 сегментов вычисляется путем умножения каждой из 24 длин сегментов на каждую из 24 площадей сегмента. Конечный диастолический объем (КДО) рассчитывался как сумма объемов всех дисков. Конечный систолический объем (КСО) рассчитывался аналогично при проведении измерений в систолу.

На основании полученных данных рассчитываются следующие показатели:

- ударный объем (УО) = КДО – КСО;
- сердечный выброс (СВ) = УО  $\times$  частота сердечных сокращений;
- фракция выброса (ФВ) = (КДО – КСО) / КДО  $\times$  100 (%).

Масса плода вычисляется с помощью уравнения Hadlock и соавт. [17], что позволяет рассчитать значения показателей ударного объема и сердечного выброса на килограмм веса плода: УО/кг и СВ/кг. Полученные параметры зависят от срока гестации и размеров плода, и в программе *Fetal HQ* для них будет определено соответствие процентильным значениями и  $Z$ -score (рис. 3).



С учетом того, что ПЖ имеет треугольную форму в коронарной плоскости и серповидную форму в поперечной плоскости, использование метода Симпсона для него невозможно. Поэтому было предложено измерение фракционного изменения площади, которое может применяться для оценки систолической функции как правого, так и левого желудочков [15]. Фракционное изменение площади (ФИП) определяется как максимальное относительное (%) уменьшение площади в течение сердечного цикла по отношению к конечной диастолической площади:

$$\text{ФИП} = \frac{\left( \frac{\text{Конечная диастолическая область}}{\text{Конечная диастолическая область}} \right) - \left( \frac{\text{Конечная систолическая область}}{\text{Конечная диастолическая область}} \right)}{\text{Конечная диастолическая область}} \times 100\%$$

(см. рис. 4, А). Оценка сегментарного сокращения миокарда желудочков проводится с использованием параметра поперечного фракционного укорочения (ПФУ). Рассчитывается по формуле:

$$\text{ПФУ} = \frac{\left( \frac{\text{Конечная диастолическая поперечная длина}}{\text{Конечная диастолическая поперечная длина}} \right) - \left( \frac{\text{Конечная систолическая поперечная длина}}{\text{Конечная диастолическая поперечная длина}} \right)}{\text{Конечная диастолическая поперечная длина}} \times 100\%$$

(см. рис. 4, Б). ФИП и ПФУ обладают корреляцией с биометрией плода и гестационным возрастом и оцениваются согласно процентильным значениям и  $Z$ -Score, предложенным Gregory R. DeVore и соавт. [15].

Глобальный стрейн (ГС) вычисляется как отношение:

$$\text{ГС} = \frac{\left( \frac{\text{Конечная систолическая эндокардиальная длина}}{\text{Конечная диастолическая эндокардиальная длина}} \right) - \left( \frac{\text{Конечная диастолическая эндокардиальная длина}}{\text{Конечная диастолическая эндокардиальная длина}} \right)}{\text{Конечная диастолическая эндокардиальная длина}} \times 100\%.$$

За нормативные значения показателя ГС, не зависящие от срока гестации и фетометрических показателей плода,

Name

Pat. ID E75115-19-10-20-3

### fetalHQ Graphs

Z-Score Basis Avg.GA

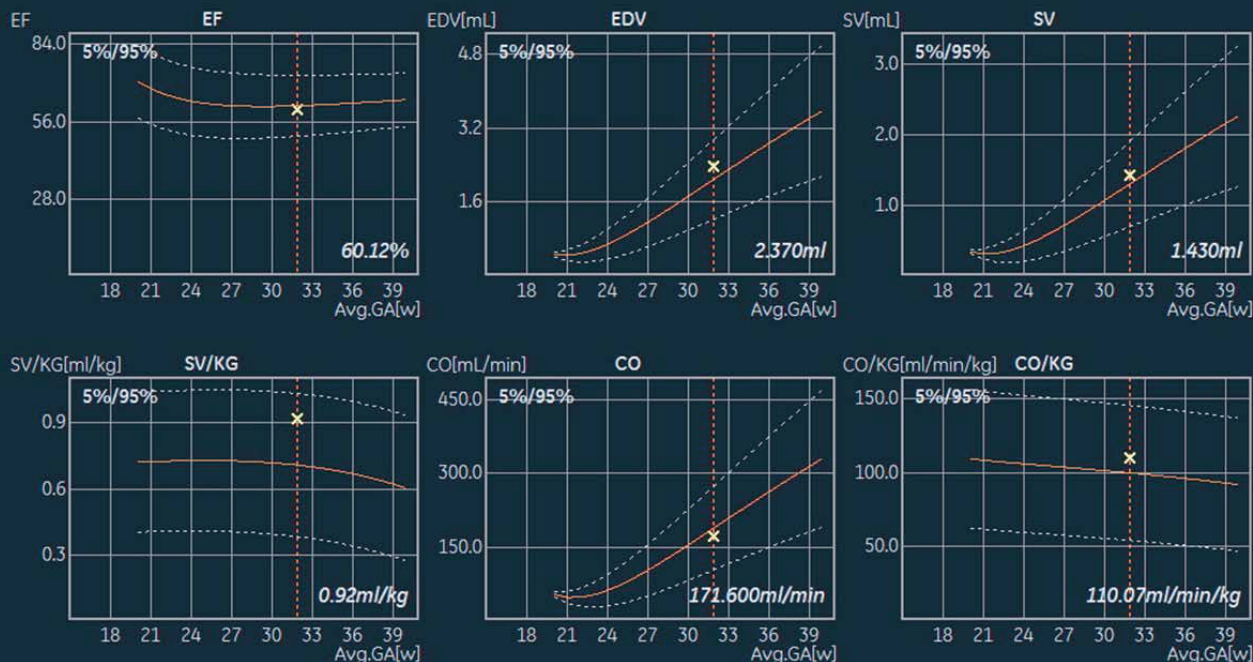


Рис. 3. Представлены результаты оценки сократительной функции левого желудочка сердца плода, полученные с помощью Fetal HQ

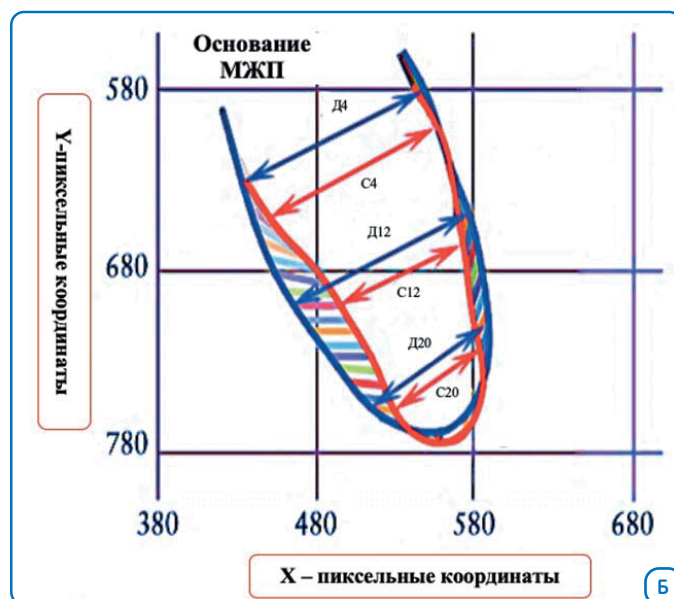
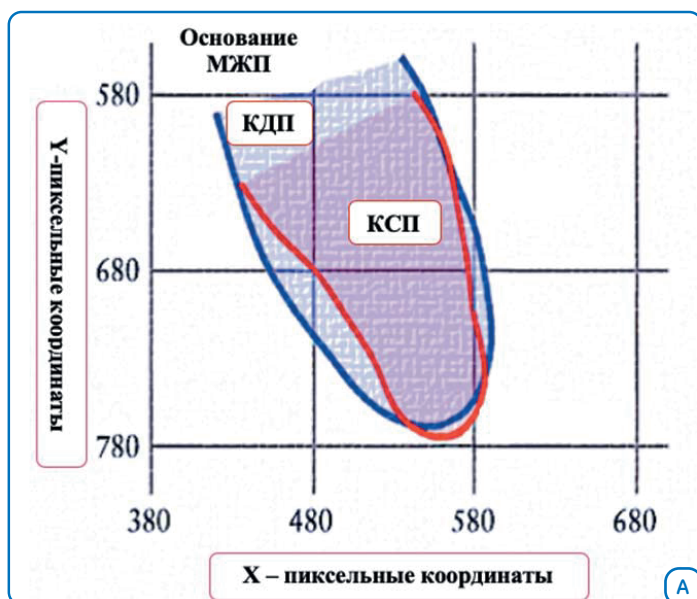


Рис. 4. А — вычисление конечной диастолической (КДП) и конечной систолической (КСП) площадей желудочка сердца плода для расчета фракционного изменения площади. Б — измерение поперечной конечной диастолической (Д) и конечной систолической (С) длин основной (Д4, С4), средней (Д12, С12) и апикальной (Д20, С20) частей желудочка для вычисления фракционного поперечного сокращения [синие линии — конечная диастола, красные линии — конечная систола] (по G.R. DeVore)

принимаются для ЛЖ: –17,81...–28,10%, а для ПЖ –17,57...–29,35% (соответственно 5-й и 95-й процентиля) [18].

Для оценки формы ПЖ и ЛЖ сердца оценивается индекс сферичности (ИС), который определяется путем вычисления соотношения между конечной диастолической базально-апикальной и поперечной длинами для каждого из 24 поперечных конечных диастолических сегментов. Индексы сферичности правого и левого желудочков являются параметрами, независимыми от биометрических показателей и гестационного возраста. Gregory R. DeVore и соавт. [19] разработали эталонные процентильные значения ИС для всех сегментов.

На сегодняшний день *Fetal HQ* является единственной технологией, позволяющей оценивать общую и сегментарную сократимость миокарда обоих желудочков сердца плода. В то же время, как и все новое, она требует проверки большим количеством наблюдений с постнатальной верификацией. Поэтому мы приглашаем всех специалистов пренатальной ультразвуковой диагностики принять участие в мультицентровом анализе «Возможности оценки деформационных свойств миокарда плода с применением *speckle tracking* эхокардиографии» для того, чтобы *speckle tracking* эхокардиография стала доступным, понятным и информативным методом исследования сердца плода в нашей повседневной практике [20].

## Список литературы

1. Бокерия О.Л., Аверина И.И. Методы визуализации и основные показатели для оценки функции миокарда. Бюллетень НЦССХ им. А.Н. Бакулева РАН. 2014; 3: 4–18.
2. Алёхин М.Н. Ультразвуковые методики оценки деформации миокарда и их клиническое значение. Двухмерное отслеживание пятен серой шкалы ультразвукового изображения миокарда в оценке его деформации и скручивания (лекция 2). Ультразвуковая и функциональная диагностика. 2011; 3: 107–120.
3. Алёхин М.Н. Ультразвуковые методики оценки деформации миокарда и их клиническое значение. Допплеровская визуализация тканей в оценке деформации миокарда (лекция 1). Ультразвуковая и функциональная диагностика. 2011; 1: 105–117.
4. Никифоров В.С., Марсальская О.А., Новиков В.И. Эхокардиографическая оценка деформации миокарда в клинической практике. Учебное пособие. СПб.: Издательство «КультИнформПресс», 2015; 28.
5. Lang R.M., Badano L.P., Mor-Avi V. Recommendations for cardiac chamber quantification by echocardiography in adults: an update from the American Society of Echocardiography and the European Association of Cardiovascular Imaging. Eur. Heart. J. Cardiovasc. Imaging. 2015; 16 (3): 233–270.
6. Abduch M.C., Alencar A.M., Mathias W.Jr, Vieira M.L. Cardiac mechanics evaluated by speckle tracking echocardiography. Arq. Bras. Cardiol. 2014; 102 (4): 403–412.
7. Alsolai A.A., Bligh L.N., Greer R.M., Gooi A., Kumar S. Myocardial strain assessment using velocity vector imaging in normally grown fetuses at term. Ultrasound Obstet. Gynecol. 2018; 52: 352–358. doi:10.1002/uog.17549.
8. Miranda J.O., Hunter L., Tibby S., Sharland G., Miller O., Simpson J.M. Myocardial deformation in fetuses with coarctation of the aorta: a case control study. Ultrasound Obstet. Gynecol. 2017; 49: 623–629. doi:10.1002/uog.15939.
9. Cohen J., Binka E., Woldu K., Levasseur S., Glickstein J., Freud L.R., Chelliah A., Chiu J.S., Shah A. Myocardial strain abnormalities in fetuses with pulmonary atresia and intact ventricular septum. Ultrasound Obstet. Gynecol. 2019; 53: 512–519. doi:10.1002/uog.19183.
10. Patey O., Carvalho J.S., Thilaganathan B. Perinatal changes in cardiac geometry and function in growth-restricted fetuses at term. Ultrasound Obstet. Gynecol. 2019; 53: 655–662. doi:10.1002/uog.19193.
11. Patey O., Carvalho J.S., Thilaganathan B. Perinatal changes in fetal cardiac geometry and function in gestational diabetic pregnancies at term. Ultrasound Obstet. Gynecol. 2019; doi:10.1002/uog.20187.
12. Patey O., Carvalho J.S., Thilaganathan B. Left ventricular torsional mechanics in term fetuses and neonates. Ultrasound Obstet. Gynecol. 2019; doi:10.1002/uog.20261.
13. DeVore G.R., Polanco B., Satou G., Sklansky M. Two-Dimensional Speckle Tracking of the Fetal Heart. J. Ultrasound Med. 2016; 35: 1765–1781. doi:10.7863/ultra.15.08060.
14. DeVore G.R., Zaretsky M., Gumina D.L., Hobbins J.C. Right and left ventricular 24-segment sphericity index is abnormal in small-for-gestational-age fetuses. Ultrasound Obstet. Gynecol. 2018; 52: 243–249. doi:10.1002/uog.18820.
15. DeVore G. R., Klas B., Satou G., Sklansky M. Quantitative evaluation of fetal right and left ventricular fractional area change using speckle-tracking technology. Ultrasound Obstet. Gynecol. 2019; 53: 219–228. doi:10.1002/uog.19048.
16. DeVore G.R., Klas B., Satou G., Sklansky M. Evaluation of Fetal Left Ventricular Size and Function Using Speckle-Tracking and the Simpson Rule. J. Ultrasound Med. 2019; 38: 1209–1221. doi: 10.1002/jum.14799.
17. Hadlock F.P., Deter R.L., Harrist R.B., Park S.K. Estimating fetal age: computer-assisted analysis of multiple fetal growth parameters. Radiology. 1984; 152: 497–501.
18. DeVore G.R., Klas B., Satou G., Sklansky M. Longitudinal Annular Systolic Displacement Compared to Global Strain in Normal Fetal Heart and Those With Cardiac Abnormalities. J. Ultrasound Med. 2018; 37: 1159–1171.
19. DeVore G.R., Klas B., Satou G., Sklansky M. 24-segment sphericity index: a new technique to evaluate fetal cardiac diastolic shape. Ultrasound Obstet. Gynecol. 2018; 51: 650–658. doi:10.1002/uog.17505.
20. Бурякова С.И., Медведев М.В. Мультицентровой анализ: возможности оценки деформационных свойств миокарда плода с применением speckle tracking эхокардиографии. Пренат. Диагн. 2019; 18 (4): 383–384. doi: 10.21516/2413-1458-2019-18-4-383-384.

**Конфликт интересов:** отсутствует.

Прозрачность финансовой деятельности: никто из авторов не имеет финансовой заинтересованности в представленных материалах или методах.

**Для цитирования:** Бурякова С.И., Медведев М.В. Возможности применения *speckle tracking* эхокардиографии для оценки функции миокарда плода. Часть 2. Параметры оценки сократительной функции миокарда. Пренат. Диагн. 2020; 19 (1): 9–15. doi: 10.21516/2413-1458-2020-19-1-9-15.





# Possibilities of applying *speckle tracking* echocardiography to assess fetal myocardial function

## Part 2. Parameters to assess myocardial contractile function

**S.I. Buryakova, M.V. Medvedev**

Department of ultrasound and prenatal diagnosis of Academy of Postgraduate Education under the Federal Research and Clinical Center of the Federal Medical-Biological Agency, Moscow, Russia

**Keywords:** fetus, prenatal echocardiography, myocardial strain, *speckle tracking*.

**ABSTRACT.** The article deals with the parameters to assess the contractile function of the myocardium and the potential of applying *speckle tracking* echocardiography to study the fetal heart is presented.

Prenatal Diagnosis. 2020. Jan–March; 19 (1): 9–15.

Контактная информация:

**Бурякова Снежана Игоревна**

АПО ФГБОУ ФНКЦ ФМБА, кафедра ультразвуковой  
и пренатальной диагностики

125371, Москва, Волоколамское шоссе, 91

Эл. почта: [snezhnaburyakov@mail.ru](mailto:snezhnaburyakov@mail.ru)

**GE Healthcare**

Бизнес-центр «Башня на Набережной», Москва-Сити

123112, г. Москва, Пресненская наб., 10 С

Тел.: + 7 (495) 739 69 31, факс: + 7 (495) 739 69 32

[www.gehealthcare.ru](http://www.gehealthcare.ru)

Тел. сервисного центра: + 7 800 333 69 67

(бесплатный номер для звонков из регионов России)

© Бурякова С.И., Медведев М.В.; компания General Electric, 2020.  
Все права защищены.

JB82070RUa