



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

Часть 1. Методы оценки функции сердца плода

С.И. Бурякова, М.В. Медведев

Академия постдипломного образования ФГБУ ФНКЦ ФМБА России, Москва

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

В статье рассматриваются особенности физиологии сердца плода и методы его функциональной оценки. Представлено описание современной методики *speckle tracking* эхокардиографии (двухмерное отслеживание пятен серой шкалы) оценки деформационных свойств миокарда у плода.

Статья была опубликована в журнале «Пренатальная диагностика», 2019; 18 (4): 297—303.

Совершенствование ультразвуковых технологий и расширение познаний в пренатальной диагностике о возможности выявлять врожденные пороки сердца (ВПС) закономерно привели к необходимости оценки функции сердца плода. В настоящее время в большинстве случаев сократительная способность миокарда у плода оценивается преимущественно субъективно. Разработка методов количественной оценки позволит диагностировать ранние нарушения, контролировать изменения в динамике и прогнозировать перинатальные исходы.

Сократительная функция желудочков 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 [1].

Исследования, проведенные F. Torrent-Guasp и соавт. [2], 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 (рис. 1).

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 [1, 2]. 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 субэндокардиальные волокна — в направлении правовращающей спирали [3–5]. 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.

Особенности физиологии сердца плода

Исследование сердца плода затруднено из-за его небольших размеров, подвижности плода, а в некоторых случаях — выраженной подкожно-жировой клетчатки пациентки.

Фетальная сердечно-сосудистая система представляет собой два круга кровообращения, работающих параллельно, с соединяющими их двумя «шунтами» — это артериальный проток и овальное окно. Проведенные исследования показали, что через ПЖ происходит 52–65 % сердечного выброса плода, а затем 75–90 % этого выброса шунтируется в системный кровоток через артериальный проток [6]. Таким образом, в отличие от взрослого, у плода ПЖ является системным.

Ориентация сердца у плода отличается от его положения в постнатальной жизни. Верхушка сердца смещена краниально относительно большой печени, за счет чего длинная ось ЛЖ расположена более горизонтально, чем у новорожденного. Кроме того, расположение сердца и магистральных сосудов относительно друг друга изменяется в течение всего срока беременности, что может приводить к ошибкам в построении моделей, используемых для объемных расчетов [6].

Окончательное формирование кардиомиоцитов происходит ближе к доношенному сроку беременности, поэтому, в отличие от сердца взрослого, на изменение давления и объема сердце плода реагирует не только гипертрофией, но и пролиферацией. По этой причине ухудшение показателей сердечной

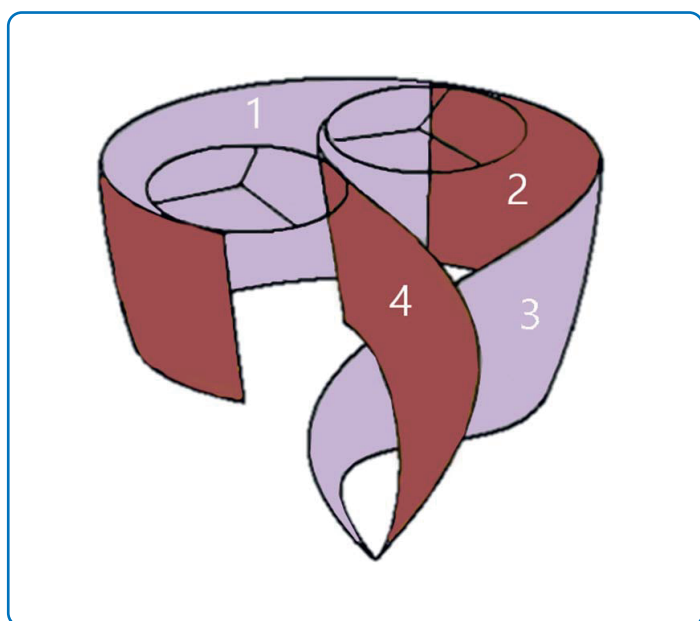


Рис. 1. Схема формирования желудочков сердца двумя витками единой мышечной полосы: 1 — правый базальный сегмент (свободная стенка правого желудочка); 2 — левый базальный сегмент (свободная стенка левого желудочка); 3 — нисходящий; 4 — восходящий апикальные сегменты (межжелудочковая перегородка) (Е.С. Мазур, 2011)

функции может быть первым проявлением патологического состояния плода [7]. Кроме того, учитывая фактор роста плода и созревания миоцитов, нормальные референтные значения показателей оценки деформации миокарда должны корректироваться в зависимости от срока гестации и фетометрических показателей.

На параметры сократимости миокарда влияют гемодинамические изменения, возникающие постнатально вслед за закрытием фетальных коммуникаций, что затрудняет прогнозирование перинатального исхода. Тяжелые поздние проявления сердечной недостаточности в виде отека плода имеют крайне неблагоприятный прогноз, поэтому параметры оценки деформационных свойств миокарда должны иметь высокую чувствительность для выявления дисфункции миокарда до появления клинических проявлений [3].

Методы изучения миокардиальной функции плода

Первым методом, с помощью которого с 80-х годов прошлого столетия начали оценивать функцию сердца плода, стала эхокардиография в М-режиме [8, 9]. Метод основан на записи отраженных от движущихся стенок сердца эхо-сигналов, что позволяет проводить измерение диаметров полостей и сосудов, толщину стенок сердца в зависимости от фазы сердечного цикла (рис. 2). Измеряя разницу диаметров конечного систолического и конечного диастолического размеров желудочков, можно оценивать глобальную сократительную систолическую функцию. Несмотря на простоту и доступность метода, М-режим имеет ряд недостатков: он зависит от угла исследования и таким образом может быть ограничен положением плода. Расчет фракции выброса не дает достоверной информации о сократимости при аномальной форме желудочков у плодов с ВПС, а снижение фракции выброса может быть поздним проявлением сердечной недостаточности, что снижает ее клиническую пользу. Кроме того, М-метод имеет ограниченные возможности для оценки регионарной сократимости миокарда.

Следующим этапом оценки функции сердца плода стало применение импульсной доплер-эхокардиографии с оценкой

отношения пиков скоростей потоков (E/A) на атриовентрикулярных клапанах (A/B) во время диастолы [8, 10]. Пик E — ранний диастолический, отражает раннее пассивное диастолическое наполнение желудочков. Пик A — активное позднее диастолическое наполнение, которое зависит от сокращения предсердий. У здорового плода зубец A обычно больше, но с увеличением срока беременности соотношение E/A увеличивается за счет повышения E -волны. Изменение отношения E/A у плодов свидетельствует о диастолической дисфункции, так у плодов-реципиентов при фето-фетальном трансфузионном синдроме (ФФТС) отмечается снижение этого показателя, а у плодов с замедлением роста — увеличение (формирование E/A по «взрослому типу») [6, 10].

Анализ показателей венозного кровотока в сосудах, связанных с правым предсердием (ductus venosus, нижняя полая вена, печеночные вены и легочные вены), дает информацию о градиенте давления в самом предсердии [8]. При низком предсердном давлении показатели скоростей кровотока в этих сосудах будут максимальными, а при высоком — минимальными или обратными. Наиболее изученным является кровоток в венозном протоке, в котором в течение одного сердечного цикла выделяют желудочковую систолу (S -волна), раннюю диастолу (D -волна), отражающую пассивное наполнение желудочков, и позднюю диастолу (a -волна) — активное сокращение предсердий. Наиболее значительным проявлением сердечной дисфункции является отсутствие или реверсные значения a -волны. Патологические изменения в венозном протоке у плодов с замедлением роста предшествуют изменениям на кардиотокограмме и в биофизическом профиле, что позволяет использовать этот метод для динамического наблюдения и выбора срока родоразрешения при тяжелой плацентарной дисфункции.

В 1995 г. С. Теi и соавт. [11] был предложен неинвазивный доплерометрический индекс (*Doppler index of myocardial performance, MPI*, или индекс *Tei*), который представляет собой сумму изоволюметрических времен сокращения и релаксации, деленную на время выброса. Индекс включает как систолический, так и диастолический компоненты, и может

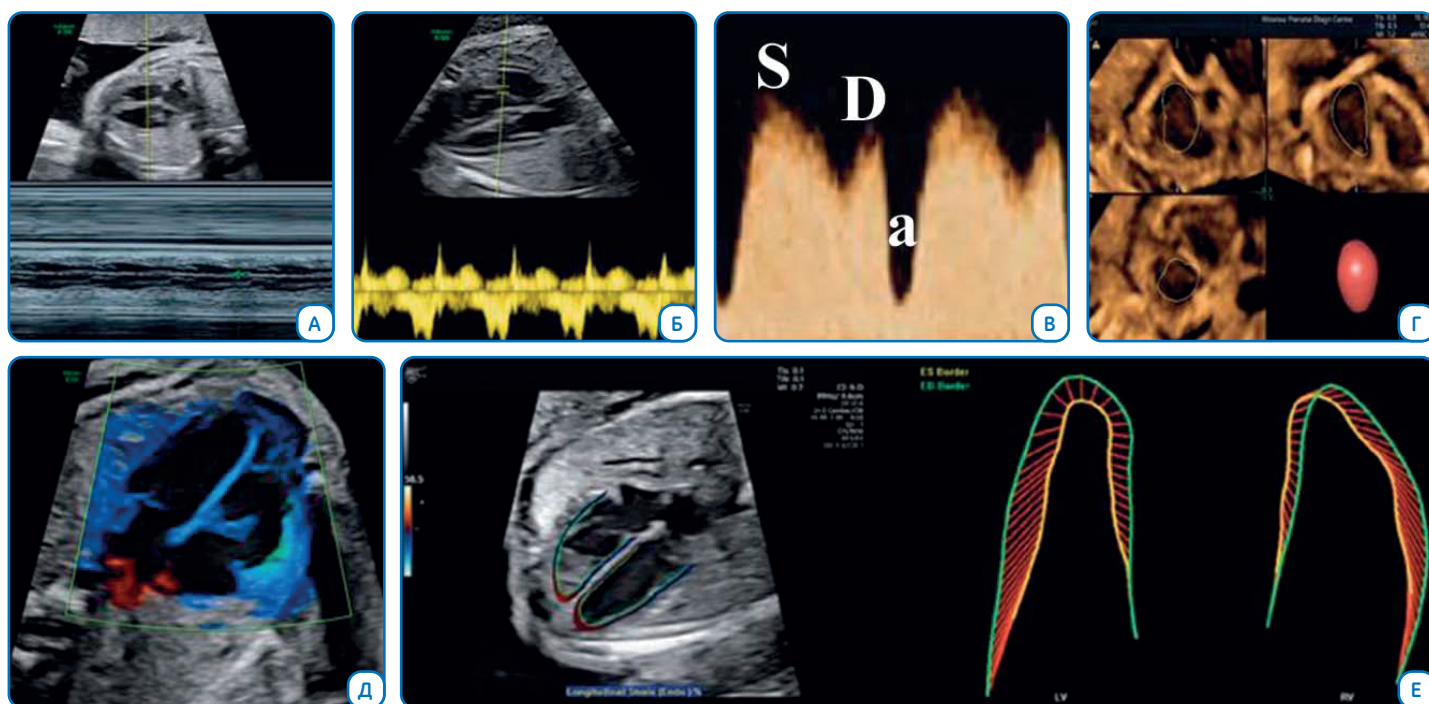


Рис. 2. Эволюция методов эхокардиографии плода: А — М-режим; Б — доплерэхокардиография атриовентрикулярных клапанов; В — спектр кровотока в венозном протоке; Г — STIC (режим VOCAL); Д — тканевая доплерография; Е — speckle tracking эхокардиография

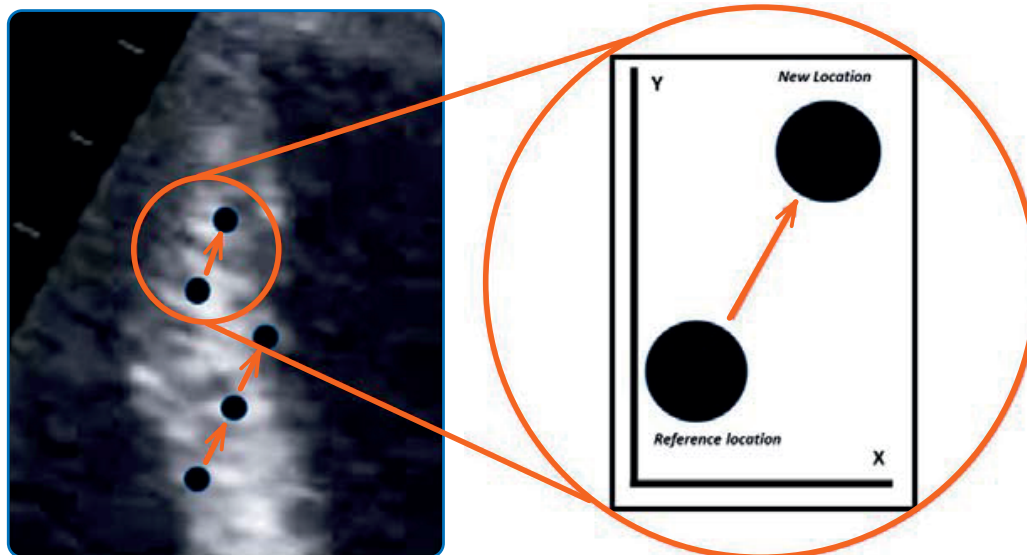


Рис. 3. Теоретическая концепция двухмерного отслеживания пятен серой шкалы ультразвукового изображения миокарда (*speckle tracking* эхокардиография) (Bansal & Kasliwal, 2013)

использоваться для независимого анализа каждого желудочка. *MPI* широко изучался при ряде патологий плода: при фето-фетальном трансфузионном синдроме, диабетической фетопатии, при тяжелой форме замедления роста плода. Было показано, что повышенное значение *MPI* является чувствительным, хотя и неспецифическим маркером сердечной дисфункции плода. Ограничения применения *MPI* были вызваны тем, что для получения достоверных результатов требовался опыт постоянного использования этого индекса в клинической практике, что возможно только в специализированных центрах [6, 7].

В течение последнего десятилетия для оценки сердечной функции плода стала использоваться технология пространственно-временной корреляции изображений — *STIC* (*spatio-temporal image correlation*) [12]. Эта технология представляет собой получение объемного изображения сердца плода. Метод позволяет получать и сохранять данные о сердце плода с последующим просмотром в виде динамической последовательности как двухмерных, так и объемных изображений. На сегодняшний день этот метод все еще не нашел широкого применения в рутинной практике, так как требует значительного опыта оператора [12].

С начала этого столетия для оценки функции сердца плода стала применяться магнитно-резонансная томография (МРТ), позволяющая измерять и рассчитывать объемы и массу желудочков, а также фракцию выброса. В отличие от ультразвуковых методов, на МРТ не влияет материнское ожирение и маловодие. К недостаткам МРТ для применения в широкой клинической практике относятся высокая стоимость методики, малая доступность, относительно большая длительность исследования и необходимость седации в некоторых случаях [6].

Также для анализа деформаций и скорости деформации миокарда в реальном режиме времени была разработана тканевая доплерометрия, которая основана на тех же принципах, что импульсно-волновая и цветовая доплерография. Применение тканевой доплерографии для оценки функции сердца плода показало, что в цветовом режиме характер движения миокарда сердца плода существенно не отличался от описанного у детей и взрослых [5]. Использование тканевой доплерографии позволяет оценивать глобальную функцию миокарда плода и диагностировать признаки фетальной сердечной недостаточности [13].

Дальнейшее развитие технологий цифровой обработки ультразвуковых изображений способствовало появлению новой методики оценки функции миокарда — двухмерного отслеживания пятен серой шкалы (*2D speckle tracking* эхокардиографии). Методика была впервые представлена для изучения функции миокарда М. Leitman и соавт. в 2004 г. [14]. В основе лежит выделение небольшого сегмента миокарда со стабильной картиной ультразвуковых пятен, состоящей из 20—40 пикселей, которая остается постоянной на протяжении сердечного цикла и узнаваемой при постоянном отслеживании [3, 15]. Смещение этой уникальной картины во время сердечного цикла происходит вслед за движением миокарда, а изменение расстояния между частицами отражает его деформацию или стрейн (англ. *strain*) — изменение длины миокардиального волокна относительно исходного (рис. 3).

Speckle tracking эхокардиография имела большие преимущества перед тканевым доплером из-за легкости получения *2D*-изображения независимо от ориентации сердца и способности измерять не только продольную, но и также радиальную и поперечную деформацию миокарда. Кроме того, *speckle tracking* эхокардиография показала меньшую вариабельность результатов у одного специалиста и между несколькими исследователями [3]. Открытие этого метода позволило описать физиологию движения желудочков и предсердий, осуществлять мониторинг сердечной недостаточности и гемодинамики. Основными областями применения *speckle tracking* эхокардиографии стали: ишемическая болезнь сердца, определение миокардиальной дисфункции при клапанных пороках, кардиомиопатии, у пациентов, проходящих химиотерапию, и после трансплантации [16]. В 2015 г. *European Association of Cardiovascular Imaging* и *American Society of Echocardiography* опубликовали консенсусный документ, предлагающий стандарты для визуализации деформации у детей и взрослых [17].

Первые исследования с использованием *2D speckle tracking* сердца плода начали проводиться с 2005 г., а в 2016 г. G.R. DeVore и соавт. [18—20] был предложен пошаговый подход к анализу деформации сердца плода с использованием автономного программного обеспечения, которое не зависит от конкретных производителей ультразвуковых систем.

Методика проведения фетальной *speckle tracking* эхокардиографии

В настоящее время методика фетальной *speckle tracking* эхокардиографии реализована в виде программного обеспечения *Fetal HQ* на системе *Voluson E10* (GE). Для проведения исследования необходимо получить клип четырехкамерного среза сердца плода с учетом следующих требований:

- необходимо использовать предустановку для исследования сердца плода с высокой частотой кадров (80 Гц и выше);
- изображение четырехкамерного среза сердца плода должно занимать большую часть ультразвукового экрана;
- изображение должно иметь высокую контрастность между пулом крови и границей эндокарда правого и левого желудочков;

- для получения качественного изображения предпочтительнее четырехкамерный срез сердца плода, при котором верхушка перпендикулярна или тангенциальна ультразвуковому лучу в сравнении со срезом, при котором верхушка сердца обращена вверх или вниз.

Затем необходимо активировать клип четырехкамерного среза сердца плода в программе *Fetal HQ*. После чего, используя анатомический *M*-режим, выбрать один сердечный цикл, который начинается и заканчивается диастолой. Затем в ручном или полуавтоматическом режиме обвести границы эндокарда правого и левого желудочков. Полученный контур отображается в трех форматах (рис. 4). После этого общие выходные данные и параметры для каждого сегмента отображаются на экране (рис. 5).



Рис. 4. Форматы отображения линий контура отслеживания: А — контур (*contur*); Б — вектор скорости (*velocity vector*); В — направления смещения миокарда (*displacement*) во время сердечного цикла при проведении *speckle tracking* эхокардиографии

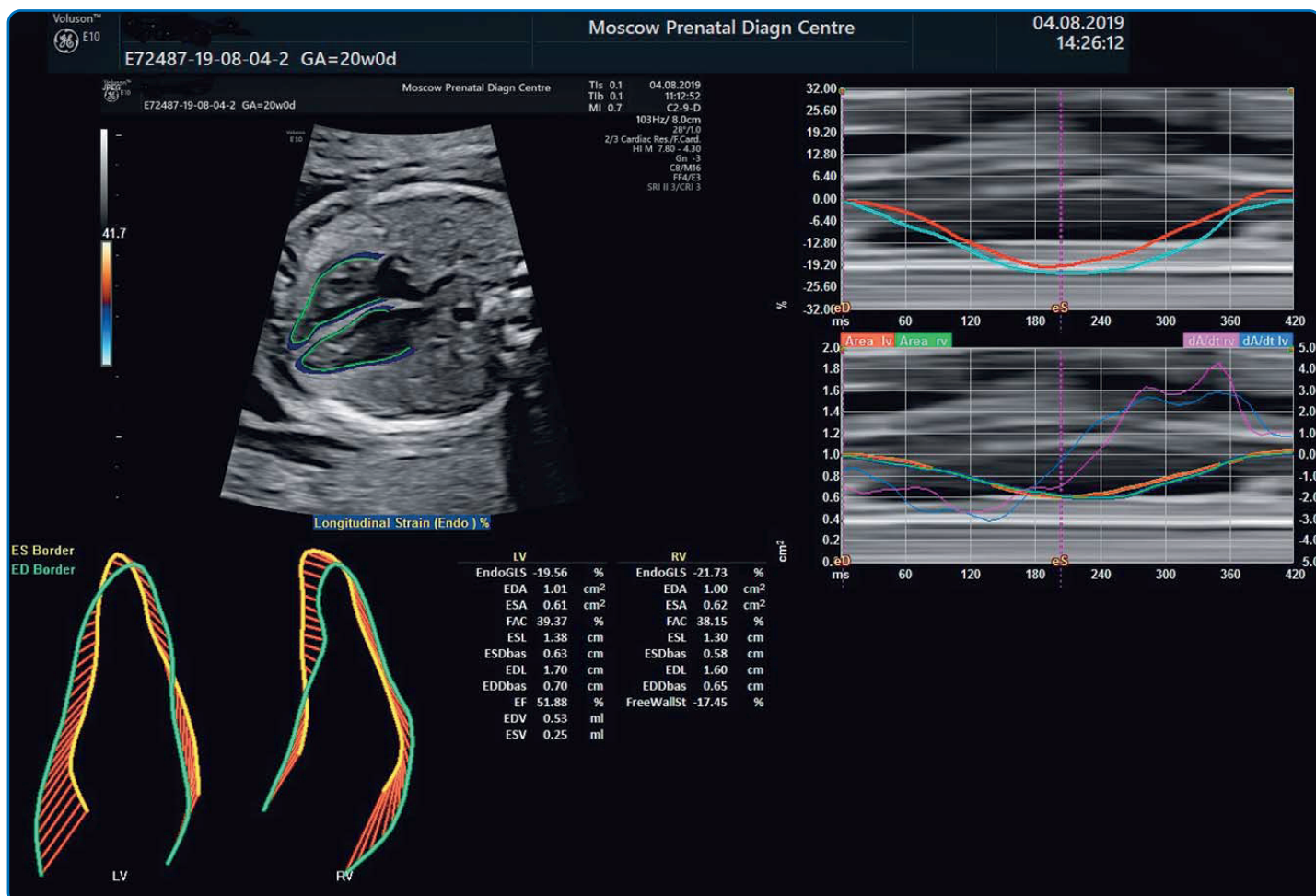


Рис. 5. Суммарная оценка размеров и общей сократимости желудочков сердца с применением *speckle tracking* эхокардиографии у плода

Для исследования сердца взрослого имеется возможность выбора 16- или 17-сегментной модели (в зависимости от того, выделяется ли отдельно верхушка сердца). Каждый из сегментов в этих моделях связан с перфузией миокарда специфическими коронарными артериями. Из-за параллельного кровообращения у плода и различного влияния, которое патологические состояния могут оказывать на форму правого и левого желудочков, G.R. DeVore и соавт. [20] была предложена 24-сегментная модель.

Фетальная *speckle tracking* эхокардиография позволяет оценивать общие и сегментарные, конечный систолический

и конечный диастолический размеры, площади и объемы, изменения формы желудочков, параметры общей и регионарной сократимости желудочков. Следует подчеркнуть, что изучение возможностей этого метода у плода еще только начинается и, несомненно, применение *speckle tracking* эхокардиографии позволит расширить наши знания о нарушениях сократительной функции миокарда плода при различных патологических состояниях и ВПС. В последующих номерах журналах «Пренатальная диагностика» будет представлен ряд статей, посвященных терминологии метода, используемым параметрам и примерам клинического применения.

Список литературы

1. Ткаченко С.Б., Берестень Н.Ф. Тканевое доплеровское исследование миокарда. М.: Реальное Время; 2006.
2. Torrent-Guasp F., Buckberg M.J., Kosica A. Systolic ventricular filling. Eur. J. Cardio thorac. Surg. 2004; 25 (3): 376—386.
3. Johnson C., Kuyt K., Oxborough D., Stout M. Practical tips and tricks in measuring strain, strain rate and twist for the left and right ventricles. Echo Res. Pract. 2019; 6 (3): 87—98. doi:10.1530/ERP-19-0020.
4. 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.
5. Алехин 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.
6. Godfrey M.E., Messing B., Cohen S.M., Valsky D.V., Yagel S. Functional assessment of the fetal heart: a review. Ultrasound Obstet. Gynecol. 2012; 39: 131—144. doi:10.1002/uog.9064
7. Day T.G., Charakida M., Simpson J.M. Using speckle tracking echocardiography to assess fetal myocardial deformation: are we there yet? Ultrasound Obstet. Gynecol. Accepted Author Manuscript. doi:10.1002/uog.20233.
8. Медведев М.В., Жанти Ф. Основы эхокардиографии плода. М.: Реал Тайм, 2015; 128.
9. Медведев М.В. Эхокардиография плода во II триместре беременности. Акушерство и гинекология. 1985; 6: 19—21.
10. Медведев М.В., Агеева М.И. Возможности и перспективы доплерэхокардиографии плода. Акушерство и гинекология. 1991; 5: 3—8.
11. Tei C., Ling L.H., Hodge D.O., Bailey K.R., Oh J.K., Rodeheffer R.J., Tajik A.J., Seward J.B. New index of combined systolic and diastolic myocardial performance: a simple and reproducible measure of cardiac function — a study in normals and dilated cardiomyopathy. J. Cardiol. 1995; 26: 357—366.
12. Медведев М.В. Основы объемной эхографии в акушерстве. М.: Реал Тайм, 2015. 136 с.
13. Синьковская Е.С. Первый опыт использования тканевой доплерографии для оценки продольной функции миокарда плода в условиях акушерской клиники. Ж. Акуш. Жен. Болезн. 2014; 1: 59—60.
14. Leitman M., Lysyansky P., Sidenko S., Shir V., Peleg E., Binebaum M., Kaluski E., Krakover R., Vered Z. Two-dimensional strain — a novel software for real-time quantitative echocardiographic assessment of myocardial function. J. Am. Soc. Echocardiogr. 2004; 17 (10): 1021—1102.
15. Алехин 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.
16. Никифоров В.С., Никищенкова Ю.В. Современные возможности speckle tracking эхокардиографии в клинической практике. Рациональная Фармакотерапия в Кардиологии. 2017; 13 (2): 248—255. DOI: <http://dx.doi.org/10.20996/1819-6446-2017-13-2-248-255>.
17. Voigt J.U., Pedrizzetti G., Lysyansky P. Definitions for a common standard for 2D speckle tracking echocardiography: consensus document of the EACVI/ASE/ Industry Task Force to standardize deformation imaging. Eur. Heart J. Cardiovasc. Imaging. 2015; 16 (1): 1—11.
18. 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.
19. DeVore G.R., Klas B., Satou G., Sklansky M. Evaluation of the right and left ventricles: An integrated approach measuring the area, length, and width of the chambers in normal fetuses. Prenat. Diagn. 2017; 37: 1203—1212. <https://doi.org/10.1002/pd.5166>.
20. 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.

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 1. Методы оценки функции сердца плода. Пренат. Диагн. 2019; 18 (4): 297—303. doi: 10.21516/2413-1458-2019-18-4-297-303.



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

Part 1. Methods to assess fetal cardiac 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, myocardial function, prenatal echocardiography, *speckle tracking*.

ABSTRACT. The article deals with the physiology of the heart and methods to assess fetal cardiac function. The leading-edge technique to assess the myocardial deformation properties by *speckle tracking* echocardiography in prenatal period is presented.

Prenatal Diagnosis. 2019. Oct-Dec; 18 (4): 297—303.

Контактная информация:

Бурякова Снежана Игоревна

АПО ФГБОУ ФНКЦ ФМБА, кафедра ультразвуковой
и пренатальной диагностики

125371, Москва, Волоколамское шоссе, 91

Эл. почта: snezhanaburyakov@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

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.

JB82070RU