

<https://doi.org/10.24835/1607-0771-2022-1-9-18>

Трехмерное ультразвуковое исследование в диагностике патологического уменьшения левого желудочка при синдроме гипоплазии левых отделов сердца плода

А.Н. Чуканов

ГУО “Белорусская медицинская академия последипломного образования”,
г. Минск, Республика Беларусь

Цель: оценка соотношения диастолических объемов желудочков в диагностике патологического уменьшения левого желудочка при синдроме гипоплазии левых отделов сердца при трехмерном ультразвуковом исследовании сердца плода.

Материал и методы: обследована группа из 21 плода с синдромом гипоплазии левых отделов сердца, у которого в ходе пренатального ультразвукового исследования в сроках 18–21 нед в В-режиме значения длины и конечного диастолического размера левого желудочка равнялись либо были ниже 5-го перцентиля соответственно сроку гестации. Контрольная группа состояла из 50 здоровых плодов соответствующего срока гестации. Ультразвуковое исследование сердца плода проводилось с использованием системы ультразвуковой визуализации Voluson 730 Expert (GE Healthcare, США) с программными пакетами Virtual Organ Computer-aided AnaLysis (VOCAL) и Spatio-Temporal Image Correlation (STIC), оснащенной специали-

зированным объемным конвексным датчиком (4–8,5 МГц). При трехмерном ультразвуковом исследовании определяли диастолические объемы желудочков и коэффициент соотношения объемов правого и левого желудочков в диастолу.

Результаты: в контрольной группе у плодов в сроках гестации 18–21 нед медиана коэффициента соотношения объемов при трехмерном ультразвуковом исследовании составляет 1,17 мл, 5–95-й перцентили – 1,00–1,23 мл, минимальное – максимальное значения – 1,00–1,23 мл; в группе синдрома гипоплазии левых отделов сердца – 3,35 мл, 1,24–17,20 мл, 1,24–11,84 мл соответственно ($P = 0,001$).

При значениях коэффициента соотношения объемов $> 1,23$ чувствительность диагностики патологического уменьшения левого желудочка при синдроме гипоплазии левых отделов сердца составляет 100,0% (с учетом выборки в группу патологии плодов с уменьшением линейных размеров левого желудочка или нижней грани-

А.Н. Чуканов – к.м.н., доцент, заведующий кафедрой репродуктивного здоровья, ректор ГУО “Белорусская медицинская академия последипломного образования”, г. Минск, Республика Беларусь. <https://orcid.org/0000-0002-5563-1788>

Контактная информация: 220013 Республика Беларусь, г. Минск, ул. П. Бровки, д. 3, к. 3, ГУО “Белорусская медицинская академия последипломного образования”, ректорат. Чуканов Алексей Николаевич. E-mail: a.chukanov@tut.by

цей нормы на фоне нормальных размеров правого желудочка).

Выводы: использование относительного параметра, коим является коэффициент соотношения объемов, позволяет минимизировать ошибки, возникающие при измерении двухмерных и трехмерных абсолютных параметров, и уменьшить операторозависимость метода.

Ключевые слова: ультразвуковое исследование, пренатальная диагностика, гипоплазия левых отделов сердца плода.

Цитирование: Чуканов А.Н. Трехмерное ультразвуковое исследование в диагностике патологического уменьшения левого желудочка при синдроме гипоплазии левых отделов сердца плода. Ультразвуковая и функциональная диагностика. 2022; 1: 9–18. <https://doi.org/10.24835/1607-0771-2022-1-9-18>.

ВВЕДЕНИЕ

В соответствии с Международной классификацией болезней 10-го пересмотра (МКБ-10) к синдрому левосторонней гипоплазии сердца (синдрому гипоплазии левых отделов сердца) (класс Q23.4) относится группа состояний, характеризующихся недоразвитием митрального клапана, левого желудочка и аорты, вследствие чего сердце не способно поддерживать системное артериальное кровообращение после рождения [1]. Частота его в структуре всех врожденных пороков составляет 1,4%, распространенность на 10 000 живорожденных – от 0,9 до 1,6 [2].

Наиболее частым проявлением при синдроме гипоплазии левых отделов сердца является гипоплазия или атрезия митрального или аортального клапана с уменьшением полости левого желудочка [3]. К разновидностям синдрома относят критический стеноз аорты с гипоплазией митрального клапана и левого желудочка, выраженную коарктацию аорты и несбалансированную форму дефекта межжелудочковой перегородки, при которых левый желудочек и аорта уменьшены [4].

Некоторые формы синдрома гипоплазии левых отделов сердца развиваются позже этапа эмбриогенеза [5]. В связи с этим важ-

ным фактором является необходимость крайне внимательного и настороженного отношения врача-диагноста, выполняющего ультразвуковое исследование сердца (эхокардиографию) плода, даже к незначительным изменениям сердечной анатомии. Одним из ультразвуковых диагностических критериев синдрома гипоплазии левых отделов сердца является дисбаланс размеров камер сердца плода, в частности, уменьшение полости левого желудочка [6]. Классические формы синдрома могут определяться в сроки гестации 11–14 нед, однако чаще выявляются в сроки 18–22 нед беременности [7]. Незначительные различия в размерах желудочков могут обнаруживаться и в норме, но значимая лево-правосторонняя асимметрия требует тщательного экспертного обследования сердца плода, так как она практически всегда является признаком врожденного порока сердца [6, 8].

При ультразвуковой оценке размеров сердца плода используются нормативные значения, представленные в виде перцентилей и z-оценки. При этом измерение линейных размеров рекомендуется проводить при использовании В- или М-режимов, для желудочков это длина и конечный диастолический размер. Есть данные о возможности определения объема желудочков при трехмерном ультразвуковом исследовании сердца плода [6, 9].

С практическим применением указанных подходов возникают сложности. Показана сильная достоверная корреляция линейных размеров и объема правого и левого желудочков плода как с гестационным возрастом, так и с предполагаемой массой плода [10, 11]. Но при этом в доступной литературе нормативы количественных показателей (длина, конечный диастолический размер, объем желудочков), определяемые не только сроком гестации, но и предполагаемой массой плода, отсутствуют [6, 12, 13].

Необходимо отметить, что при трехмерной оценке объемов желудочков важными факторами, определяющими разброс нормативных значений, являются различия используемых ультразвуковых сканеров, программного обеспечения и методов измерения [14].

Цель исследования: оценка относительного параметра соотношения диастолических объемов желудочков в диагностике

патологического уменьшения левого желудочка при синдроме гипоплазии левых отделов сердца при трехмерном ультразвуковом исследовании сердца плода.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Для достижения поставленной цели проведено трехмерное ультразвуковое исследование сердца плода в двух группах. Группа 1 состояла из 21 плода, у которого в В-режиме значения длины и конечного диастолического размера левого желудочка, определяемые по стандартной методике [6], были ниже значения 5-го перцентиля или равнялись ему (перцентильные значения, соответствующие сроку гестации, были взяты из [6]). Во всех случаях группы 1 беременности были одноплодными. Эхокардиография плода проводилась в сроке гестации 18–35 нед.

В 4 (19,0%) случаях группы 1 в качестве проявления синдрома гипоплазии левых отделов сердца было выявлено только уменьшение левого желудочка. В оставшихся 17 (81,0%) случаях уменьшение левого желудочка сочеталось с другими различными кардиальными проявлениями синдрома гипоплазии левых отделов сердца (табл. 1).

Сочетанные аномалии выявлены в 3 из 21 (14,3%) случая: 1 случай аплазии правой почки, 1 случай синдрома гетеротаксии (левый изомеризм), 1 случай атрезии пищевода 3-го типа в сочетании с гипоплазией левой ушной раковины.

Патологические изменения размеров правого желудочка в группе 1 выявлены не были (перцентильные значения, соответствующие сроку гестации, были взяты из [6]).

Подтверждение установленного дородового диагноза у плодов группы 1 осуществлялось нами впоследствии посредством запроса информации из Белорусского регистра врожденных пороков развития. Регистрации в нем подлежат только врожденные пороки развития и хромосомные болезни после их верификации в ходе хирургического вмешательства, патоморфологического исследования, использования иного верифицирующего метода. Во всех случаях плоды/дети из группы 1 были зарегистрированы в указанном регистре по окончательному диагнозу “синдром гипоплазии левых отделов сердца” с различными проявлениями, общим из которых была гипоплазия левого желудочка.

Группу 2 (контрольную группу) составили 50 случайным образом отобранных плодов. Критерии включения: неосложненная одноплодная беременность с нормальным развитием плода и неизменной анатомией, оцененной при ультразвуковом исследовании; длина и конечный диастолический размер левого желудочка превышают минимальное значение нормы для соответствующего срока гестации (перцентильные значения, соответствующие сроку гестации, были взяты из [6]). Эхокардиография плода проводилась в сроки гестации 18–35 нед. Окончательное заключение об отсутствии врожденных пороков развития у плодов контрольной группы (верификация нормального строения плода) было сделано на основании отсутствия каких-либо сведений об указанных плодах/детях в Белорусском регистре врожденных пороков развития.

Протокол исследования был одобрен Комитетом по этике ГУО “Белорусская медицинская академия последипломного обра-

Таблица 1. Кардиальные проявления синдрома гипоплазии левых отделов сердца, диагностированные в сочетании с уменьшением левого желудочка

Проявления синдрома гипоплазии левых отделов сердца	Число случаев
Атрезия митрального клапана	1 (4,8%)
Гипоплазия митрального клапана в сочетании с гипоплазией восходящей аорты	5 (23,8%)
Атрезия митрального клапана в сочетании с гипоплазией восходящей аорты	2 (9,5%)
Атрезия аорты	1 (4,8%)
Гипоплазия аорты	5 (23,8%)
Атрезия аорты в сочетании с атрезией митрального клапана	2 (9,5%)
Дефект межжелудочковой перегородки	1 (4,8%)

зования”, г. Минск, Республика Беларусь. У всех пациенток было получено информированное согласие.

Ультразвуковое исследование сердца плода проводилось с использованием системы ультразвуковой визуализации Voluson 730 Expert (GE Healthcare, США) с программными пакетами *Virtual Organ Computer-aided AnaLysis (VOCAL)* и *Spatio-Temporal Image Correlation (STIC)*, оснащенной специализированным объемным конвексным датчиком (4–8,5 МГц).

Для расчета размеров желудочков сердца использовались только наборы объемных данных адекватного качества. Настройки В-режима были отрегулированы для получения максимально четкой визуализации внутренних границ камер сердца. Объемные изображения получали в период двигательного покоя плода, в те моменты, когда верхушка сердца была направлена в сторону датчика, располагающегося на уровне стандартной четырехкамерной проекции сердца плода. Время сбора данных при объемном сканировании с целью минимизации влияния возможных артефактов, связанных с движением плода, устанавливалось в 7,5 с. Угол развертки объемного сканирования варьировал в зависимости от размера сердца плода: 25° во втором триместре беременности, 30° – в третьем триместре. Еще раз отметим, что для последующей оценки отбирались объемные изображения с четкими внутренними границами желудочков без артефактов.

Программный пакет *VOCAL* использовался для получения сечений правого и левого желудочков вокруг фиксированной оси в диастолу, идентифицируемую по максимальному диаметру желудочка, когда атриовентрикулярные клапаны закрыты. Начальной точкой вращения был четырехкамерный срез сердца, вращение проводилось вокруг фиксированной оси, простирающейся от верхушки сердца до точки, которая симметрично разделяет каждый атриовентрикулярный клапан. Внутренний контур каждого желудочка в каждой плоскости был обрисован вручную после соответствующей корректировки яркости и контрастности, при этом начальные отделы выносящих трактов желудочков в указанный контур не включались. Диастолический объем каждого желудочка плода был авто-

матически рассчитан программой *VOCAL* по окончании получения всех данных.

Измерение значений диастолического объема желудочков в обеих группах проводилось трижды одним исследователем, имеющим стаж в эхокардиографии плода более 20 лет. Для последующего анализа эти значения усреднялись.

Статистическая обработка полученных результатов проведена с помощью пакетов прикладных программ для медико-биологических исследований Statistica 8.0 (StatSoft Inc., США) и MedCalc 14.8.1.0 (MedCalc Software Ltd., Бельгия). При проверке статистической гипотезы о виде распределения количественных признаков использовали критерии Шапиро–Уилка и Колмогорова–Смирнова. Количественные данные, не подчиняющиеся нормальному распределению, представлены в виде медианы, 5–95-го перцентилей и минимального – максимального значений. Для сравнения количественных показателей использовали непараметрический тест Манна–Уитни. Достоверными считали различия при $P \leq 0,05$. Для сопоставления серии полученных измерений применяли ранговый коэффициент корреляции Спирмена (r_s) (уровень значимости – 0,05). Для поиска условного порога искомого параметра применяли *ROC*-анализ.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

При анализе измерений, проведенных в В-режиме, в группе 1 в 81,0% (17/21) случаев значения длины левого желудочка сердца плода были меньше нормативных, из которых в 16 (76,2%) случаях значения конечного диастолического размера левого желудочка были также меньше нормативных, в 1 (4,8%) случае – равно минимальному значению норматива (5-му перцентилю).

В 19,0% (4/21) случаев значения длины левого желудочка равнялись минимальному значению норматива, а значения конечного диастолического размера левого желудочка превышали минимальное значение норматива.

Интересно, что в 52,4% (11/21) случаев при одинаковых значениях длины и конечного диастолического размера левого желудочка, измеренных в В-режиме, значения

Таблица 2. Сравнение параметров левого желудочка, полученных при двумерном (длина, конечный диастолический размер) и трехмерном (диастолический объем) ультразвуковом исследовании сердца плодов с синдромом гипоплазии левых отделов сердца

Номер случая	Длина левого желудочка, мм	Конечный диастолический размер левого желудочка, мм	Диастолический объем левого желудочка, мл
1	6,0	3,0	0,11
2	6,0	3,0	0,12
3	6,0	4,0	0,13
4	6,0	4,0	0,17
5	7,5	5,0	0,20
6	7,5	5,0	0,26
7	8,0	4,0	0,20
8	8,0	4,0	0,21
9	9,0	4,0	0,21
10	9,0	4,0	0,22
11	9,0	4,0	0,23

диастолического объема левого желудочка, полученные при трехмерном исследовании с применением *VOCAL*, отличались (табл. 2).

При трехмерном исследовании с применением *VOCAL* в 4 (19,0%) случаях, когда значения длины левого желудочка равнялись минимальному значению норматива, а значения конечного диастолического размера левого желудочка превышали минимальное значение норматива, значения диастолического объема левого желудочка тоже соответствовали нормативным. В 17 (81,0%) оставшихся случаях значения диастолического объема левого желудочка были меньше нормативных. Процентильные значения, соответствующие сроку гестации, были взяты из [15].

Сравнение абсолютных значений диастолического объема правого и левого желудочков внутри групп и соответствующих показателей между группами не проводилось ввиду большого разброса гестационного срока внутри обеих групп. Интересно, что в работе N. Hamill et al. [15] достоверные различия значений диастолического объема правого и левого желудочков были получены даже для группы нормы (19–42 нед гестации) (диастолический объем правого желудочка больше диастолического объема левого желудочка при $P < 0,001$). Медиана диастолического объема правого желудочка – 1,20 мл, интерквартильный размах – 0,7–2,2 мл; левого желудочка – 1,03 мл, 0,50–1,70 мл соответственно [15].

В работе N.J. Bravo-Valenzuela et al. [16] при оценке диастолических объемов желудочков в группе нормы (20–34 нед гестации) достоверность различий справа и слева не оценивалась, хотя диапазон значений слева был выше (медиана диастолического объема правого желудочка – 1,00 мл, минимальное – максимальное значения – 0,22–2,02 мл; левого желудочка – 0,99 мл, 0,31–2,31 мл соответственно).

При сопоставлении данных, полученных при трехкратных измерениях диастолического объема желудочков в обеих группах одним исследователем, выявлено, что результаты измерений объемов желудочков характеризуются высокой корреляцией (для левого желудочка $r_{s1-2} = 0,87$, $r_{s1-3} = 0,81$ и $r_{s2-3} = 0,85$; для правого желудочка – 0,80, 0,79 и 0,81 соответственно; для всех корреляций $P \leq 0,05$).

Далее в обеих группах проводился расчет соотношения значений диастолического объема правого и левого желудочков – коэффициента соотношения объемов (КфСО) – по формуле:

$$\text{КфСО} = A/B,$$

где А – диастолический объем правого желудочка (мл), В – диастолический объем левого желудочка (мл). Результаты расчета КфСО в исследуемых группах представлены в табл. 3.

Таким образом, значения КфСО в обеих группах не только достоверно различа-

Таблица 3. Значения КфСО, полученные при трехмерном ультразвуковом исследовании сердца плодов

Параметр	Группа 1 (n = 21)	Группа 2 (контрольная) (n = 50)	Уровень значимости (P) при сравнении двух групп
КфСО	3,35 1,24–11,84 1,24–17,20	1,17 1,00–1,23 1,00–1,23	0,001

Примечание: на первой строке ячейки представлена медиана, на второй – 5–95-й процентиля, на третьей – минимальное – максимальные значения.

лись, но и не пересекались. То есть при использовании порогового значения 1,23 (КфСО > 1,23) диагностика патологической диспропорции размеров желудочков, которая демонстрирует гипоплазию (патологическое уменьшение левого желудочка), возможна в 100,0% случаев. Необходимо еще раз напомнить, что у всех пациентов была проведена первоначальная прикидочная оценка линейных размеров желудочков, позволяющая выявить отсутствие патологического увеличения линейных размеров правого желудочка и присутствие патологического уменьшения линейных размеров левого желудочка или значений его линейных размеров на уровне минимального норматива. Поэтому проведение полноценного ROC-анализа теста, связанного с определением КфСО, нецелесообразно (ROC-анализ был использован для вывода оптимального порога в конкретной искусственной ситуации). Однако при сравнении чувствительности использованных количественных показателей выявлено, что чувствительность определения линейных размеров левого желудочка составила 81,0%, диастолического объема левого желудочка – 81,0%, КфСО – 100,0%.

У разных исследователей определяются значительные различия КфСО в норме, значения которого варьируют от 1,1 до 1,5 [10]. По данным В. Messing et al. [10], среднее значение КфСО у нормальных плодов с гестационным возрастом 20–40 нед составило 1,4 (95%-ный доверительный интервал – 1,3–1,5) (без связи со сроком гестации). Различия с нашими данными, вероятно, связаны с использованием коллегами режима инверсии, который обеспечивает измерение заполненного жидкостью (кровью) пространства, включая дополнительно начальные отделы выносящих трактов желудоч-

ков, с ручной регулировкой порога чувствительности.

Различия в определяемых размерах правого и левого желудочков некоторые исследователи связывают в большей степени с переоценкой, которая относится в целом к двухмерным методам измерений, когда форма для обеих полостей фетального сердца изначально принимается как одинаковая, в результате чего в большей степени переоцениваются размеры правого желудочка, чем левого [17]. Однако, как было отмечено выше, в другой работе и при трехмерном ультразвуковом исследовании определяются достоверные различия значений объема правого и левого желудочков в норме [15].

По нашим данным, корреляции, определяемые при сопоставлении данных, полученных одним исследователем в серии измерений, немного выше при оценке диастолического объема левого желудочка ($r_s = 0,81–0,87$ при $P \leq 0,05$) при сравнении с правым ($r_s = 0,79–0,81$ при $P \leq 0,05$). По данным N.J. Bravo-Valenzuela et al. [16], коэффициент корреляции согласованности (*concordance correlation coefficient*) при измерении диастолических объемов левого и правого желудочков одним исследователем практически одинаков (0,98 и 0,97 соответственно) и характеризует хорошую воспроизводимость, тогда как при измерении разными исследователями для левого желудочка согласованность значительно ниже (0,88 – плохая воспроизводимость), чем для правого (0,95 – хорошая воспроизводимость). Это еще раз подчеркивает целесообразность расчета относительного параметра, основанного на соотношении объемов.

Необходимо отметить, что размеры левого желудочка при синдроме гипоплазии левых отделов сердца могут быть не только уменьшенными (в ряде случаев левый желу-

дочек может не визуализироваться), но и нормальными или даже увеличенными, однако во всех случаях сократительная способность левого желудочка будет снижена (потеря функциональной способности) [18].

Способность распознавать плоды, подверженные риску развития синдрома гипоплазии левых отделов сердца, во внутриутробном периоде улучшает дооперационное клиническое состояние и выживаемость после первого этапа хирургического лечения по сравнению с пациентами, у которых диагноз был поставлен после рождения [19]. Хотя пренатальная диагностика синдрома гипоплазии левых отделов сердца не всегда соотносится с более низкой смертностью [20], возможность оптимизации перинатальной помощи (т.е. предотвращения закрытия артериального протока с помощью простагландина E1 в раннем послеродовом периоде) может изменить естественное течение за счет улучшения предоперационного гемодинамического статуса с уменьшением ацидоза и повреждения конечных органов [7].

ВЫВОДЫ

1) В контрольной группе у плодов в сроках гестации 18–21 нед медиана КфСО при трехмерном ультразвуковом исследовании с использованием программы *VOCAL* составляет 1,17 мл, 5–95-й процентиля – 1,00–1,23 мл, минимальное – максимальное значения – 1,00–1,23 мл; в группе синдрома гипоплазии левых отделов сердца у плодов в сроках гестации 18–21 нед – 3,35 мл, 1,24–17,20 мл, 1,24–11,84 мл соответственно ($P = 0,001$).

2) При значениях КфСО $> 1,23$ чувствительность диагностики патологического уменьшения левого желудочка при синдроме гипоплазии левых отделов сердца составляет 100,0% (с учетом выборки в группу патологии плодов с уменьшением линейных размеров левого желудочка или нижней границей нормы на фоне нормальных размеров правого желудочка).

3) Использование относительного параметра, коим является КфСО, позволяет минимизировать ошибки, возникающие при измерении двухмерных и трехмерных абсолютных параметров, и уменьшить операторозависимость метода.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бокерия Л.А., Шаталов К.В. (ред.) *Детская кардиохирургия: руководство для врачей*. М.: ГБУ “НМИЦ ССХ им. А.Н. Бакулева” Минздрава России, 2016. 864 с.
2. Schwedler G., Lindinger A., Lange P.E., Sax U., Olchvary J., Peters B., Bauer U., Hense H.W. Frequency and spectrum of congenital heart defects among live births in Germany: a study of the Competence Network for Congenital Heart Defects. *Clin. Res. Cardiol.* 2011; 100 (12): 1111–1117. <https://doi.org/10.1007/s00392-011-0355-7>
3. Yagel S., Silverman N.H., Gembruch U. (eds.) *Fetal cardiology: embryology, genetics, physiology, echocardiographic evaluation, diagnosis, and perinatal management of cardiac diseases*. 3rd ed. CRC Press, 2019, 860 p.
4. Simpson J., Zidere V., Miller O.I. (eds.) *Fetal cardiology. A practical approach to diagnosis and management*. Springer Cham, 2018, 308 p. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-77461-9>
5. Feinstein J.A., Benson D.W., Dubin A.M., Cohen M.S., Maxey D.M., Mahle W.T., Pahl E., Villafane J., Bhatt A.B., Peng L.F., Johnson B.A., Marsden A.L., Daniels C.J., Rudd N.A., Caldarone C.A., Mussatto K.A., Morales D.L., Ivy D.D., Gaynor J.W., Tweddell J.S., Deal B.J., Furck A.K., Rosenthal G.L., Ohye R.G., Ghanayem N.S., Cheatham J.P., Tworetzky W., Martin G.R. Hypoplastic left heart syndrome: current considerations and expectations. *J. Am. Coll. Cardiol.* 2012; 59 (1 Suppl.): S1–S42. <https://doi.org/10.1016/j.jacc.2011.09.022>
6. Allan L.D., Cook A.C., Huggon I.C. *Fetal echocardiography. A practical guide*. London: Cambridge University Press, 2009, 272 p.
7. Alphonso N., Angelini A., Barron D.J., Bellsham-Revell H., Blom N.A., Brown K., Davis D., Duncan D., Fedrigo M., Galletti L., Hehir D., Herberg U., Jacobs J.P., Januszewska K., Karl T.R.; (Chaiman HLHS Guidelines Task Force), Malec E., Maruszewski B., Montgomerie J., Pizzaro C., Schranz D., Shillingford A.J., Simpson J.M. Guidelines for the management of neonates and infants with hypoplastic left heart syndrome: The European Association for Cardio-Thoracic Surgery (EACTS) and the Association for European Paediatric and Congenital Cardiology (AEPC) Hypoplastic Left Heart Syndrome Guidelines Task Force. *Eur. J. Cardiothorac. Surg.* 2020; 58 (3): 416–499. <https://doi.org/10.1093/ejcts/ezaa188>
8. Allan L.D. The normal fetal heart. In: Allan L.D., Hornberger L., Sharland G.K. (eds.): *Textbook of fetal cardiology*. London: Greenwich Medical Media, 2000, pp. 55–102.
9. AIUM Practice Parameter for the Performance of Fetal Echocardiography. *J. Ultrasound Med.* 2020; 39 (1): E5–E16. <https://doi.org/10.1002/jum.15188>
10. Messing B., Cohen S.M., Valsky D.V., Rosenak D., Hochner-Celnikier D., Savchev S., Yagel S. Fetal cardiac ventricle volumetry in the second half of

- gestation assessed by 4D ultrasound using STIC combined with inversion mode. *Ultrasound Obstet. Gynecol.* 2007; 30 (2): 142–151.
<https://doi.org/10.1002/uog.4036>
11. Schneider C., McCrindle B.W., Carvalho J.S., Hornberger L.K., McCarthy K.P., Daubeney P.E. Development of Z-scores for fetal cardiac dimensions from echocardiography. *Ultrasound Obstet. Gynecol.* 2005; 26 (6): 599–605.
<https://doi.org/10.1002/uog.2597>
 12. Rizzo G. *4D fetal echocardiography*. Bentham Science Publishers, 2010.
<https://doi.org/10.2174/97816080504441100101>
 13. Bunduki V., Zugaib M. *Atlas of fetal ultrasound. Normal imaging and malformations*. Springer International Publishing AG, 2018. 261 p.
<https://doi.org/10.1007/978-3-319-54798-5>
 14. Pasieczna M., Duliban J., Grzyb A., Szymkiewicz-Dangel J. 4D imaging of fetal right ventricle-feasibility study and a review of the literature. *Int. J. Cardiovasc. Imaging.* 2022; 38 (2): 319–329.
<https://doi.org/10.1007/s10554-021-02407-9>
 15. Hamill N., Yeo L., Romero R., Hassan S.S., Myers S.A., Mittal P., Kusanovic J.P., Balasubramaniam M., Chaiworapongsa T., Vaisbuch E., Espinoza J., Gotsch F., Goncalves L.F., Lee W. Fetal cardiac ventricular volume, cardiac output, and ejection fraction determined with 4-dimensional ultrasound using spatiotemporal image correlation and virtual organ computer-aided analysis. *Am. J. Obstet. Gynecol.* 2011; 205 (1): 76.e1–10.
<https://doi.org/10.1016/j.ajog.2011.02.028>
 16. Bravo-Valenzuela N.J., Peixoto A.B., Mattar R., Melo Junior J.F., da Silva Pares D.B., Araujo Junior E. Fetal cardiac function and ventricular volumes determined by three-dimensional ultrasound using STIC and VOCAL methods in fetuses from pre-gestational diabetic women. *Pediatr. Cardiol.* 2020; 41 (6): 1125–1134.
<https://doi.org/10.1007/s00246-020-02362-7>
 17. Bhat A.H., Corbett V., Carpenter N., Liu N., Liu R., Wu A., Hopkins G., Sohaey R., Winkler C., Sahn C.S., Sovinsky V., Li X., Sahn D.J. Fetal ventricular mass determination on three-dimensional echocardiography: studies in normal fetuses and validation experiments. *Circulation.* 2004; 110 (9): 1054–1060. <https://doi.org/10.1161/01.cir.0000139848.33468.22>
 18. Abuhamad A., Chaoui R. *A practical guide to fetal echocardiography: normal and abnormal hearts*. 2nd ed. Philadelphia: Lippincott Williams & Wilkins, 2010, 379 p.
 19. Tworetzky W., McElhinney D.B., Reddy V.M., Brook M.M., Hanley F.L., Silverman N.H. Improved surgical outcome after fetal diagnosis of hypoplastic left heart syndrome. *Circulation.* 2001; 103 (9): 1269–1273.
<https://doi.org/10.1161/01.cir.103.9.1269>
 20. Thakur V., Munk N., Mertens L., Nield L.E. Does prenatal diagnosis of hypoplastic left heart syndrome make a difference? A systematic review. *Prenat. Diagn.* 2016; 36 (9): 854–863.
<https://doi.org/10.1002/pd.4873>
- ## REFERENCES
1. Bokeriya L.A., Shatalov K.V. (eds.) *Pediatric cardiac surgery*. Moscow: A.N. Bakulev National Medical Research Center of Cardiovascular Surgery, 2016, 864 p. (in Russian)
 2. Schwedler G., Lindinger A., Lange P.E., Sax U., Olchvary J., Peters B., Bauer U., Hense H.W. Frequency and spectrum of congenital heart defects among live births in Germany: a study of the Competence Network for Congenital Heart Defects. *Clin. Res. Cardiol.* 2011; 100 (12): 1111–1117.
<https://doi.org/10.1007/s00392-011-0355-7>
 3. Yagel S., Silverman N.H., Gembruch U. (eds.) *Fetal cardiology: embryology, genetics, physiology, echocardiographic evaluation, diagnosis, and perinatal management of cardiac diseases*. 3rd ed. CRC Press, 2019, 860 p.
 4. Simpson J., Zidere V., Miller O.I. (eds.) *Fetal cardiology. A practical approach to diagnosis and management*. Springer Cham, 2018, 308 p.
<https://doi.org/10.1007/978-3-319-77461-9>
 5. Feinstein J.A., Benson D.W., Dubin A.M., Cohen M.S., Maxey D.M., Mahle W.T., Pahl E., Villafane J., Bhatt A.B., Peng L.F., Johnson B.A., Marsden A.L., Daniels C.J., Rudd N.A., Caldarone C.A., Mussatto K.A., Morales D.L., Ivy D.D., Gaynor J.W., Tweddell J.S., Deal B.J., Furck A.K., Rosenthal G.L., Ohye R.G., Ghanayem N.S., Cheatham J.P., Tworetzky W., Martin G.R. Hypoplastic left heart syndrome: current considerations and expectations. *J. Am. Coll. Cardiol.* 2012; 59 (1 Suppl.): S1–S42.
<https://doi.org/10.1016/j.jacc.2011.09.022>
 6. Allan L.D., Cook A.C., Huggon I.C. *Fetal echocardiography. A practical guide*. London: Cambridge University Press, 2009, 272 p.
 7. Alphonso N., Angelini A., Barron D.J., Bellsham-Revell H., Blom N.A., Brown K., Davis D., Duncan D., Fedrigo M., Galletti L., Hehir D., Herberg U., Jacobs J.P., Januszewska K., Karl T.R.; (Chaiman HLHS Guidelines Task Force), Malec E., Maruszewski B., Montgomerie J., Pizzaro C., Schranz D., Shillingford A.J., Simpson J.M. Guidelines for the management of neonates and infants with hypoplastic left heart syndrome: The European Association for Cardio-Thoracic Surgery (EACTS) and the Association for European Paediatric and Congenital Cardiology (AEPC) Hypoplastic Left Heart Syndrome Guidelines Task Force. *Eur. J. Cardiothorac. Surg.* 2020; 58 (3): 416–499.
<https://doi.org/10.1093/ejcts/ezaa188>
 8. Allan L.D. The normal fetal heart. In: Allan L.D., Hornberger L., Sharland G.K. (eds.) *Textbook of fetal cardiology*. London: Greenwich Medical Media, 2000, pp. 55–102.
 9. AIUM Practice Parameter for the Performance of Fetal Echocardiography. *J. Ultrasound Med.* 2020; 39 (1): E5–E16.
<https://doi.org/10.1002/jum.15188>
 10. Messing B., Cohen S.M., Valsky D.V., Rosenak D., Hochner-Celnikier D., Savchev S., Yagel S. Fetal

- cardiac ventricle volumetry in the second half of gestation assessed by 4D ultrasound using STIC combined with inversion mode. *Ultrasound Obstet. Gynecol.* 2007; 30 (2): 142–151. <https://doi.org/10.1002/uog.4036>
11. Schneider C., McCrindle B.W., Carvalho J.S., Hornberger L.K., McCarthy K.P., Daubeney P.E. Development of Z-scores for fetal cardiac dimensions from echocardiography. *Ultrasound Obstet. Gynecol.* 2005; 26 (6): 599–605. <https://doi.org/10.1002/uog.2597>
 12. Rizzo G. *4D fetal echocardiography*. Bentham Science Publishers, 2010. <https://doi.org/10.2174/97816080504441100101>
 13. Bunduki V., Zugaib M. *Atlas of fetal ultrasound. Normal imaging and malformations*. Springer International Publishing AG, 2018. 261 p. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-54798-5>
 14. Pasieczna M., Duliban J., Grzyb A., Szymkiewicz-Dangel J. 4D imaging of fetal right ventricle-feasibility study and a review of the literature. *Int. J. Cardiovasc. Imaging.* 2022; 38 (2): 319–329. <https://doi.org/10.1007/s10554-021-02407-9>
 15. Hamill N., Yeo L., Romero R., Hassan S.S., Myers S.A., Mittal P., Kusanovic J.P., Balasubramaniam M., Chaiworapongsa T., Vaisbuch E., Espinoza J., Gotsch F., Goncalves L.F., Lee W. Fetal cardiac ventricular volume, cardiac output, and ejection fraction determined with 4-dimensional ultrasound using spatiotemporal image correlation and virtual organ computer-aided analysis. *Am. J. Obstet. Gynecol.* 2011; 205 (1): 76.e1–10. <https://doi.org/10.1016/j.ajog.2011.02.028>
 16. Bravo-Valenzuela N.J., Peixoto A.B., Mattar R., Melo Junior J.F., da Silva Pares D.B., Araujo Junior E. Fetal cardiac function and ventricular volumes determined by three-dimensional ultrasound using STIC and VOCAL methods in fetuses from pre-gestational diabetic women. *Pediatr. Cardiol.* 2020; 41 (6): 1125–1134. <https://doi.org/10.1007/s00246-020-02362-7>
 17. Bhat A.H., Corbett V., Carpenter N., Liu N., Liu R., Wu A., Hopkins G., Sohaey R., Winkler C., Sahn C.S., Sovinsky V., Li X., Sahn D.J. Fetal ventricular mass determination on three-dimensional echocardiography: studies in normal fetuses and validation experiments. *Circulation.* 2004; 110 (9): 1054–1060. <https://doi.org/10.1161/01.cir.0000139848.33468.22>
 18. Abuhamad A., Chaoui R. *A practical guide to fetal echocardiography: normal and abnormal hearts*. 2nd ed. Philadelphia: Lippincott Williams & Wilkins, 2010, 379 p.
 19. Tworetzky W., McElhinney D.B., Reddy V.M., Brook M.M., Hanley F.L., Silverman N.H. Improved surgical outcome after fetal diagnosis of hypoplastic left heart syndrome. *Circulation.* 2001; 103 (9): 1269–1273. <https://doi.org/10.1161/01.cir.103.9.1269>
 20. Thakur V., Munk N., Mertens L., Nield L.E. Does prenatal diagnosis of hypoplastic left heart syndrome make a difference? A systematic review. *Prenat. Diagn.* 2016; 36 (9): 854–863. <https://doi.org/10.1002/pd.4873>

3D/4D ultrasound in the diagnosis of significant hypoplasia of the left ventricle in hypoplastic left heart syndrome

A.N. Chukanov

Belarusian Medical Academy of Postgraduate Education, Minsk, Republic of Belarus

A.N. Chukanov – M.D., Ph.D., Associate Professor, Director, Division of Reproductive Health; Rector, Belarusian Medical Academy of Postgraduate Education, Minsk, Republic of Belarus. <https://orcid.org/0000-0002-5563-1788>

Correspondence to Dr. Alexei N. Chukanov. E-mail: a.chukanov@tut.by

Objective: to evaluate the value of 4D fetal heart ultrasound assessment of diastolic right : left ventricle volume ratio in diagnosis of significant hypoplasia of the left ventricle in hypoplastic left heart syndrome.

Material and methods: the main group consisted of 21 fetuses with hypoplastic left heart syndrome, in which left ventricle length and end-diastolic dimension were equal or below the 5th percentile for gestational age. The control group consisted of 50 healthy fetuses. Prenatal ultrasound examination was performed at 18–21 weeks of gestation with the use of Voluson 730 Expert (GE Healthcare, USA) with Virtual Organ Computer-aided AnaLysis (VOCAL) and Spatio-Temporal Image Correlation (STIC) software with 4D convex transabdominal transducer (4–8.5 MHz). 4D volumes of the left and right ventricle in diastole and right : left ventricle volume ratio have been assessed.

Results: at the gestational age of 18–21 weeks in fetuses of the control group the median of diastolic right : left ventricle volume ratio was 1.17 ml, the 5 and 95 percentile range – 1.00–1.23 ml, the minimum and maximum range – 1.00–1.23 ml; in the main group – 3.35 ml, 1.24–17.20 ml, 1.24–11.84 ml, respectively ($P = 0.001$).

The sensitivity of diastolic right : left ventricle volume ratio > 1.23 in the in diagnosis of significant hypoplasia of the left ventricle in hypoplastic left heart syndrome – 100.0% (taking into account the inclusion to the main group the fetuses with left ventricle linear dimensions equal or below to lower limit of normal values with background of normal right ventricle dimensions).

Conclusion: the use of right : left ventricle volume ratio allows to minimize 2D and 3D/4D measurement errors of absolute parameters, and reduce intraobserver and interobserver variability in ultrasound measurements.

Key words: ultrasound, prenatal diagnosis, hypoplastic left heart syndrome.

Citation: Chukanov A.N. 3D/4D ultrasound in the diagnosis of significant hypoplasia of the left ventricle in hypoplastic left heart syndrome. *Ultrasound and Functional Diagnostics*. 2022; 1: 9–18.
<https://doi.org/10.24835/1607-0771-2022-1-9-18> (in Russian)