



Сравнительный анализ площади сканов сердца и его камер у здоровых плодов и у плодов с врождёнными пороками сердца

©М.Н. Карахалис^{1*}, А.В. Поморцев¹, Н.В. Кривоносова^{1,2}

¹ Кубанский государственный медицинский университет, Краснодар, Россия

² Детская краевая клиническая больница, Краснодар, Россия

* М.Н. Карахалис, Кубанский государственный медицинский университет, 350063, Краснодар, ул. Митрофана Седина, 4, mark_karakhalis@mail.ru

Поступила в редакцию 21 апреля 2025 г. Исправлена 15 мая 2025 г. Принята к печати 29 мая 2025 г.

Резюме

Актуальность: Внедрение и применение современных математических моделей для обработки и анализа данных при лучевой диагностике врожденных пороков сердца (ВПС) представляет собой актуальную задачу. Использование современных нейронных сетей для прогнозирования ВПС потенциально способствует снижению частоты недиагностированных случаев.

Цель исследования: Сравнение площадей сердца и его камер, включая соотношения между предсердиями и желудочками, при проведении второго акушерского скрининга у плодов с ВПС и без ВПС.

Дизайн: Проведено наблюдательное нерандомизированное исследование с участием 85 беременных женщин в сроки, соответствующие второму акушерскому скринингу. Пациентки были разделены на две группы: I группа (n=45) – беременные женщины со здоровыми плодами; II группа (n=40) – беременные женщины, у плодов которых диагностированы ВПС. В ходе обследования определялись площади сердца и его камер, рассчитывался кардио-кардиальный индекс у здоровых плодов и при наличии ВПС. Оценивались соотношения площадей предсердий и желудочков в норме и при ВПС. Исследование проводилось с использованием ультразвукового сканера Samsung H 60 (Samsung Medison, Южная Корея) в перинатальном центре ГБУЗ «Детская краевая больница» Минздрава Краснодарского края. Статистическая обработка 132 исследований выполнена с применением статистического пакета STATISTICA 13.3 (Tibco Software Inc., США).

Результаты: Получены референсные значения площади сердца (2,57–3,97 мм²) и площади камер сердца: правое предсердие (ПП) (0,26–0,46 мм²), левое предсердие (ЛП) (0,27–0,53 мм²), правый желудочек (ПЖ) (0,25–0,46 мм²), левый желудочек (ЛЖ) (0,34–0,64 мм²). У плодов с ВПС выявлены отклонения от референсных значений: ПП $\leq 0,25$ мм² или $\geq 0,47$ мм²; ЛП $\leq 0,26$ мм² или $\geq 0,54$ мм²; ПЖ $\leq 0,24$ мм² или $\geq 0,47$ мм²; ЛЖ $\leq 0,33$ мм² или $\geq 0,65$ мм². Значения кардио-кардиального индекса у здоровых плодов составило 0,11–0,14, у плодов с ВПС – от 0,05 до 0,25. При ВПС соотношения зависят от типа порока и обусловлены перегрузкой правых отделов сердца вследствие особенностей фетального кровотока.

Заключение: Определение площади сердца в интервале от 2,57 мм² до 3,97 мм² при проведении второго акушерского скрининга позволяет с высокой вероятностью исключить наличие ВПС у плода. Оценка кардио-кардиального индекса является ценным методом диагностики: значения 0,11–0,14 характерны для здоровых плодов, у плодов с ВПС он варьирует в широких пределах за счёт нарушения фетального кровотока, что указывает на наличие сердечно-сосудистой патологии при ВПС с обогащённым легочным кровотоком и при аномалиях легочно-венозного соединения. При ВПС с обеднённым легочным кровотоком, при аномалии конотрункуса и при ВПС с обструкцией системного кровотока, наряду с УЗИ сердца, необходимо проводить МРТ сердца для верификации диагноза. Дальнейшее совершенствование ультразвуковых методов и аппаратов УЗИ, внедрение фетальной кардио-МРТ, призвано улучшить своевременное выявление ВПС у плода и стать важным инструментом в рутинной практике врача лучевой диагностики, позволит использовать математический анализ в клинической практике.

Ключевые слова: врожденные пороки сердца, беременность, ультразвуковое исследование, диагностика

Цитировать: Карахалис М.Н., Поморцев А.В., Кривоносова Н.В. Сравнительный анализ площади сканов сердца и его камер у здоровых плодов и у плодов с врожденными пороками сердца. *Инновационная медицина Кубани*. 2025;10(4):51–59. <https://doi.org/10.35401/2541-9897-2025-10-4-51-59>



Comparative Analysis of Heart and Chamber Areas on Scans in Healthy Fetuses and Fetuses with Congenital Heart Defects

©Mark N. Karakhalis^{1*}, Aleksey V. Pomortsev¹, Natalia V. Krivososova^{1,2}

¹ Kuban State Medical University, Krasnodar, Russian Federation

² Children's Regional Clinical Hospital, Krasnodar, Russian Federation

* Mark N. Karakhalis, Kuban State Medical University, ulitsa Mitrofana Sedina 4, Krasnodar, 350063, Russian Federation, mark_karakhalis@mail.ru

Received: April 21, 2025. Received in revised form: May 15, 2025. Accepted: May 29, 2025.

Abstract

Background: The implementation and application of modern mathematical models for data analysis in the radiological diagnosis of congenital heart defects (CHD) represents a significant challenge. The use of modern neural networks for predicting CHD has the potential to reduce the incidence of undiagnosed cases.

Objective: To compare the areas of heart and its chambers, including the atrial to ventricular ratios, during the second trimester obstetric screening between fetuses with and without CHD.

Materials and Methods: An observational non-randomized study was conducted involving 85 pregnant women during the second trimester obstetric screening. The patients were divided into two groups: Group I (n=45) – pregnant women with healthy fetuses and Group II (n=40) – pregnant women carrying fetuses with CHD. During the examination, the areas of the heart and its chambers were determined, and the cardio-cardial index (CCI) was calculated in healthy fetuses and in the fetuses with CHD. The atrial to ventricular area ratios were evaluated in both healthy fetuses and fetuses with CHD. The study was conducted using a Samsung H60 ultrasound scanner (Samsung Medison, South Korea) in the Perinatal Center of Children's Regional Clinical Hospital (Krasnodar). Statistical analysis of data from 132 cases was performed using the STATISTICA 13.3 software package (TIBCO Software Inc., USA).

Results: Reference values were determined for the area of the heart (2.57-3.97 mm²) and for the areas of its chambers: right atrium (RA) 0.26-0.46 mm², left atrium (LA) 0.27-0.53 mm², right ventricle (RV) 0.25-0.46 mm², left ventricle (LV) 0.34-0.64 mm². A significant difference from the reference values was observed in fetuses with CHD: RA ≤ 0.25 mm² or ≥ 0.47 mm²; LA ≤ 0.26 mm² or ≥ 0.54 mm²; RV ≤ 0.24 mm² or ≥ 0.47 mm²; LV ≤ 0.33 mm² or ≥ 0.65 mm². The CCI was 0.11-0.14 in healthy fetuses, 0.05-0.25 in fetuses with CHD. In congenital heart defects, the ratios depend on the type of malformation and are determined by right heart overload resulting from the characteristics of fetal circulation.

Conclusion: Determination of the fetal heart area in the range of 2.57 mm² to 3.97 mm² during the second trimester obstetric screening allows for the exclusion of CHD with high probability. Evaluation of CCI is a valuable diagnostic method: the range of 0.11-0.14 is associated with healthy fetuses, while in fetuses with CHD, the values vary widely due to altered fetal blood flow, indicating the presence of cardiovascular pathology in CHD with increased pulmonary blood flow and in anomalies of the pulmonary venous connection. In cases of CHD with decreased pulmonary blood flow, conotruncal anomalies or CHD with obstruction of systemic blood flow, fetal cardiac MRI should be performed alongside fetal echocardiography to ensure an accurate diagnosis. Improving ultrasound methods and equipment, as well as the introduction of fetal cardiac MRI, are expected to enhance the early detection of CHD and should become an important tool in routine practice of radiologists, enabling the integration of mathematical analysis into clinical practice.

Keywords: congenital heart defects, pregnancy, ultrasound, diagnosis

Cite this article as: Karakhalis MN, Pomortsev AV, Krivososova NV. Comparative analysis of heart and chamber areas on scans in healthy fetuses and fetuses with congenital heart defects. *Innovative Medicine of Kuban*. 2025;10(4):51–59. <https://doi.org/10.35401/2541-9897-2025-10-4-51-59>

Введение

Отсутствие чётко сформулированных диагностических критериев при выявлении врождённых пороков сердца (ВПС) ставит перед специалистами важную задачу: выявить объективные признаки данной патологии. Основываясь на нормальных показателях и признаках заболевания, используя математический анализ, возможно создание диагностики ВПС с использованием технологий искусственного интеллекта. Следует отметить, что оценка состояния плода методом фетальной эхокардиографии ограничена особенностями антропометрии беременной. Также течение беременности может осложняться многоводием, повышающим двигательную активность ребёнка и осложняющим выполнение УЗИ, делая некоторые

органы либо вовсе невидимыми, либо доступными лишь частично, что затрудняет диагностику. Внутритробоная диагностика ВПС плода сопровождается сложностями в интерпретации полученных результатов. Условием для постановки диагноза ВПС плода является возможность проведения динамической визуализации, способной преодолеть движение сердца и меняющуюся скорость кровотока. Так, например, диагноз коарктации аорты более показателен при изучении кровотока, а степень регургитации легче определить по объёму желудочка и скорости кровотока [1, 2]. Для более детального изучения сердечно-сосудистой системы (ССС) плода служит внедрение кардио-MPT [3–5]. При помощи магнитно-резонансной томографии (МРТ) возможно воссоздать реконструкции,

которые позволят детально визуализировать ВПС плода [6–8]. Исследование факторов риска ВПС, степени их выраженности и возможностей хирургического лечения в послеродовом периоде пока не позволяет однозначно сформировать трактуемые заключения [9, 10]. Чтобы распознать патологический процесс, важно установить характеристики нормального строения ССС плода в период гестации, применяя лучевую диагностику. Затем полученные показатели у здоровых плодов необходимо сопоставлять с аналогичными характеристиками ССС плодов с ВПС. Важнейшим этапом разработки алгоритмов выявления ВПС становится выявление ключевых анатомических ориентиров, пригодных для ежедневной клинической практики.

Цель исследования

Сравнительный анализ площади сердечных сканграмм и отдельных полостей сердца, включая предсердия и желудочки, у плодов с врождёнными пороками сердца и без таковых, выполненных в рамках стандартного второго акушерского ультразвукового скрининга.

Материалы и методы

Нами проведено наблюдательное нерандомизированное исследование сердечно-сосудистой системы у 85 плодов беременных женщин в сроке проведения второго акушерского скрининга, который на момент начала данной работы составлял от 18 до 21⁺⁶ недель и в процессе исследования эти сроки были изменены и составили 18–20⁺⁶ недель согласно клиническим рекомендациям «Нормальная беременность», 2024 г. Все 85 пациенток были обследованы в указанные сроки беременности, из их числа сформирована I группа (n=45) – здоровые плоды и II группа (n=40) – плоды с ВПС, классифицированные на 5 групп:

- 1-я группа – ВПС с обогащённым легочным кровотоком, n=19;
- 2-я группа – ВПС с обеднённым легочным кровотоком, n=8;

- 3-я группа – аномалии легочно-венозного соединения, n=3;
- 4-я группа – аномалии конотрункуса, n=4;
- 5-я группа – ВПС с обструкцией системного кровотока, n=6.

Для проведения исследования состояния ССС выбраны анатомические ориентиры: окружности грудной клетки и сердца, обоих предсердий и желудочков, позвоночник, грудина. Оценивали площади (S) сердца и его камер, соотношение S камер к S сердца. Маркировка S проводилась в 4-х камерном срезе. Исследование проводили на аппарате УЗ сканер Samsung H 60 (Samsung Medison, Южная Корея) и Toshiba Xario (Canon, Япония) в перинатальном центре ГБУЗ «ДККБ № 3» МЗ КК с 2021 по 2024 г. Дизайн утвержден на заседании НЭК: протокол № 103 от 12 октября 2021 г. После подписания беременной информированного согласия на проведение исследования, измеряли: S сердца в мм², S правого желудочка (ПЖ) в мм², S левого желудочка (ЛЖ) в мм², S правого предсердия (ПП) в мм², S левого предсердия (ЛП) в мм².

Статистический анализ был проведён с помощью пакета STATISTICA 10 (TIBCO Software Inc., США) и Microsoft Excel 2016 (Microsoft Corporation, США). Наряду со средним арифметическим (M) и среднеквадратическим (стандартным) отклонением (m), данные были охарактеризованы медианой (Me), нижней и верхней квартили [25; 75%]. Во всех критериях использовался общепринятый уровень статистической значимости $p=0,05$ [11].

Результаты исследования

Возраст обследованных беременных в I группе составил $30,82 \pm 5,28$ лет, Me=31,0 год, а верхняя и нижняя квартили – [28,0; 34,0], при минимальном возрасте 18 лет и максимальном 48 лет. Во II группе соответственно: $30,4 \pm 7,5$ лет, Me=29 лет [26,0; 36,0], 20 лет и 41 год ($p>0,05$). Оценка сканов площади здорового сердца, а также сканов площадей камер сердца, полученная путем проведения серии срезов при выполнении УЗИ, представлена в таблице 1.

Таблица 1

Площади сердца и его камер у здоровых плодов при проведении второго скрининга

Table 1

Heart and chamber areas in healthy fetuses at second trimester screening

Показатель	I группа, n=45					
	M±m	Me	Min	Max	Q1	Q3
S сердца, мм ²	3,27±0,7	3,29	1,92	5,34	2,76	3,52
S ПЖ, мм ²	0,36±0,11	0,36	0,2	0,78	0,30	0,41
S ЛЖ, мм ²	0,49±0,15	0,46	0,27	0,96	0,37	0,56
S ПП, мм ²	0,36±0,10	0,35	0,19	0,56	0,28	0,43
S ЛП, мм ²	0,40±0,13	0,38	0,23	0,79	0,30	0,50

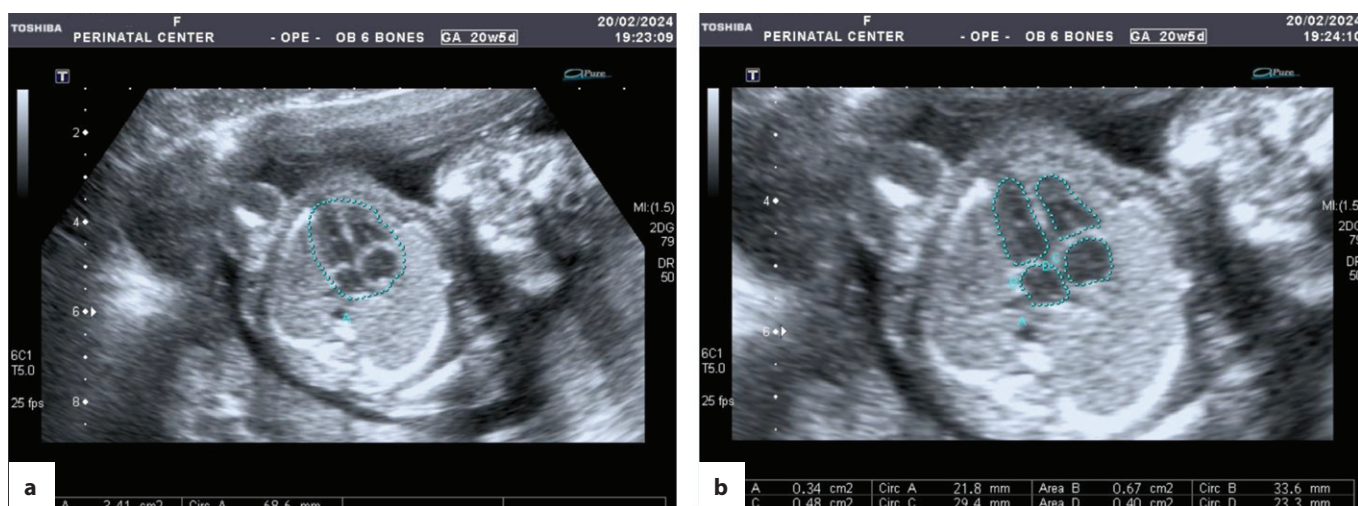


Рисунок 1. Площадь сердца (а), его камер (б) при сроке беременности 20⁺⁵ недель у здорового плода
 Figure 1. Heart area (a) and chamber areas (b) in a healthy fetus at 20⁺⁵ weeks of gestation

Полученные при помощи УЗИ сканы здоровых плодов отображены на рисунке 1.

Для интерпретации полученных результатов при измерении S здорового сердца у плода, мы сочли необходимым определить коэффициенты отношения S камер сердца к S сердца. Интерес был обусловлен тем, что несмотря на проведение исследования сканов 4-х камер сердца и выхода магистральных сосудов, остаётся высокой частота диагностических ошибок. Необходимо не только констатировать наличие 4-х камер сердца, но и помнить, что при некоторых пороках срез будет иметь нормальный вид, соответствующий срезу без наличия ВПС у плода, что требует поиска математических маркеров для создания модели здорового сердца.

Математический расчёт показал, что у здоровых плодов отношение S ПЖ к S сердца = 0,11; S ЛЖ к S сердца = 0,14; S ПП к S сердца = 0,11; S ЛП к S сердца = 0,13. Эти соотношения можно считать нормальным коэффициентом, находящимся в интервале от 0,11 до 0,14. При физиологическом развитии ССС камеры левых отделов сердца опережают размеры правых отделов, в связи с чем коэффициент соотношения S ЛЖ к S сердца и S ЛП к S сердца несколько выше, соответственно 0,14 и 0,13. При этом соотношение S ПЖ к S

сердца и S ПП к S сердца равнялось в обоих случаях 0,11. Для фетального типа кровообращения характерно высокое сопротивление в системе правых отделов сердца из-за высоких концентраций циркулирующих простагландинов и лейкотриенов, вырабатываемых плацентой, что способствует поддержанию функционального статуса фетальных коммуникаций и преобладанию размеров левых отделов над правыми [12, 13].

Коэффициент, полученный в результате расчётов отношения S камер сердца к S самого сердца, был назван нами кардио-кардиальным индексом (ККИ).

Исследования у беременных в сроке 18–21⁺⁶ недели с верифицированным постнатально ВПС у плодов показали следующие результаты, в зависимости от анатомии имеющегося порока (табл. 2).

На рисунках 2–6 размещены сканы ВПС плодов, полученные при помощи УЗИ во 2-й половине беременности во всех 5 клинических группах.

На рисунке 2 показаны 4-х камерный срез и сканы S сердца плода с ВПС в сроке беременности 19⁺⁵ недель, относящегося к 1-й клинической группе – ВПС с обогащённым легочным кровотоком: атриовентрикулярная коммуникация полная форма в сочетании с тетрадой Фалло. Маркеры хромосомных аномалий плода, диагноз верифицирован.

Таблица 2

Площади сердца и его камер у беременных с ВПС у плода в сроке беременности 18-21⁺⁶ недели

Table 2

Heart and chamber areas in fetuses with CHD at 18-20⁺⁶ weeks of gestation

Клиническая группа	S сердца, мм ²	S ПП, мм ²	S ЛП, мм ²	S ПЖ, мм ²	S ЛЖ, мм ²
1 – ВПС с обогащённым легочным кровотоком	3,98	0,25	0,26	0,48	0,65
2 – ВПС с обеднённым легочным кровотоком	3,99	0,49	0,47	0,48	0,65
3 – аномалии легочно-венозного соединения	1,92	0,47	0,17	0,48	0,3
4 – аномалии конотрункуса	5,56	0,58	0,59	0,47	0,67
5 – ВПС с обструкцией системного кровотока	3,98	0,26	0,47	0,33	0,19

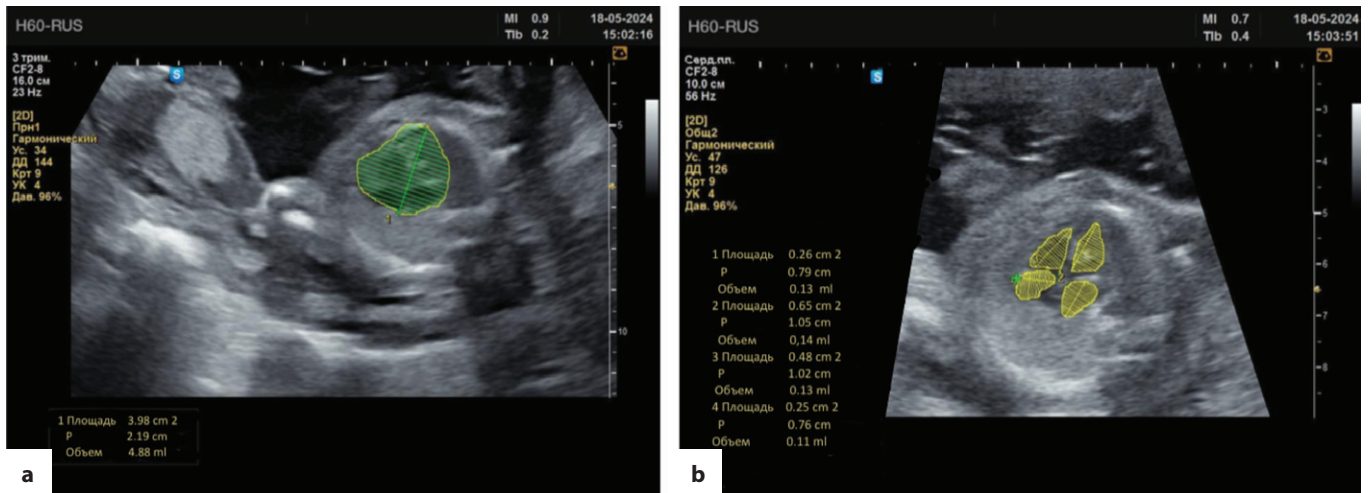


Рисунок 2. Площади сердца (а) и его камер (б) у плода с ВПС в сроке беременности 19⁺⁵ недель, относящегося к 1-й клинической группе – ВПС с обогащённым легочным кровотоком
 Figure 2. Heart area (a) and chamber area (b) in a fetus with CHD at 19⁺⁵ weeks of gestation, classified into clinical group 1 – CHD with increased pulmonary blood flow

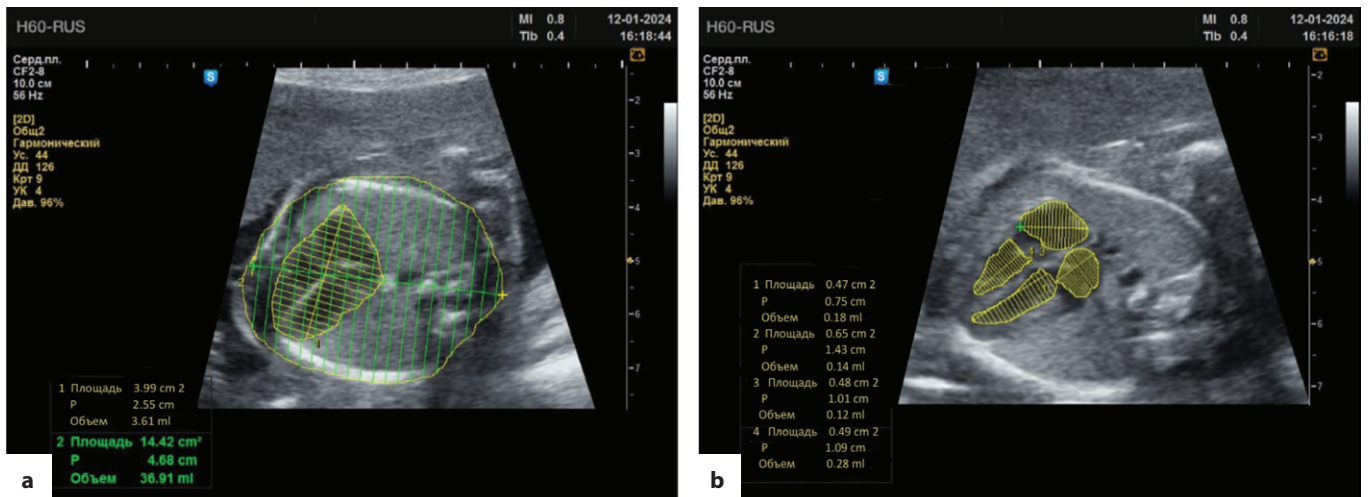


Рисунок 3. Площади сердца и грудной клетки (а), камер сердца (б) плода с ВПС в сроке беременности 21⁺¹ неделя, относящегося ко 2-й клинической группе – ВПС с обеднённым легочным кровотоком
 Figure 3. Heart and thorax (a), chamber area (b) in a fetus with CHD at 21⁺¹ weeks of gestation, classified into clinical group 2 – CHD with decreased pulmonary blood flow

На рисунке 3 продемонстрирован ВПС с обеднённым легочным кровотоком, относящийся ко 2-й клинической группе: 4-х камерный срез и S сердца и грудной клетки (а) и камер сердца (в) при сроке беременности 21⁺¹ неделя. Диагноз верифицирован: тетрада Фалло. Маркеры хромосомных аномалий плода.

Полученные сканы сердца, его камер в сроке беременности 19⁺³ недель, характерные для 3-й клинической группы: ВПС с аномалиями лёгочно-венозного соединения (рис. 4). Диагноз: ВПС (анатомия единого желудочка, гипоплазия аорты). Маркеры хромосомных аномалий, диагноз верифицирован.

На рисунке 5 показаны сканы ВПС плода в 22⁺³ недели, патология 4-й клинической группы: ВПС с ано-

малиями конотрункуса. Диагноз верифицирован: ВПС. Двойное отхождение магистральных сосудов от правого желудочка с подлегочным дефектом межжелудочковой перегородки (аномалия Тауссиг-Бинга). Стеноз легочной артерии клапанный. Аномалия строения митрального клапана. Открытый артериальный проток. Межпредсердное сообщение.

Технически не удалось сделать сканы в сроке 18–22 недели у плодов с ВПС 5-й клинической группы. На рисунке 6 – сканы ВПС в 32⁺² недели: Коарктация аорты (резкое сужение просвета аорты, которое расположено дистальнее левой подключичной артерии), перимембранозный ДМЖП, антенатальная гибель плода на 34-й неделе, диагноз верифицирован.

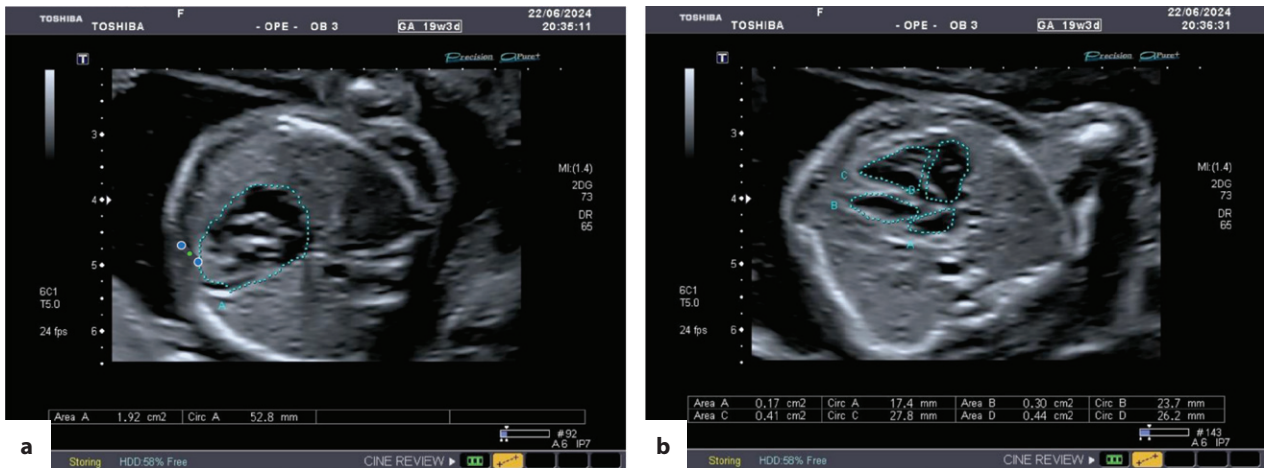


Рисунок 4. Площади сердца (а), его камер (b). ВПС в сроке беременности 19⁺³ недель, относящегося к 3-й клинической группе – ВПС с аномалиями лёгочно-венозного соединения
 Figure 4. Heart area (a), chamber areas (b) in a fetus with CHD at 19⁺³ weeks of gestation, classified into clinical group 3 – CHD with anomalous pulmonary venous connections

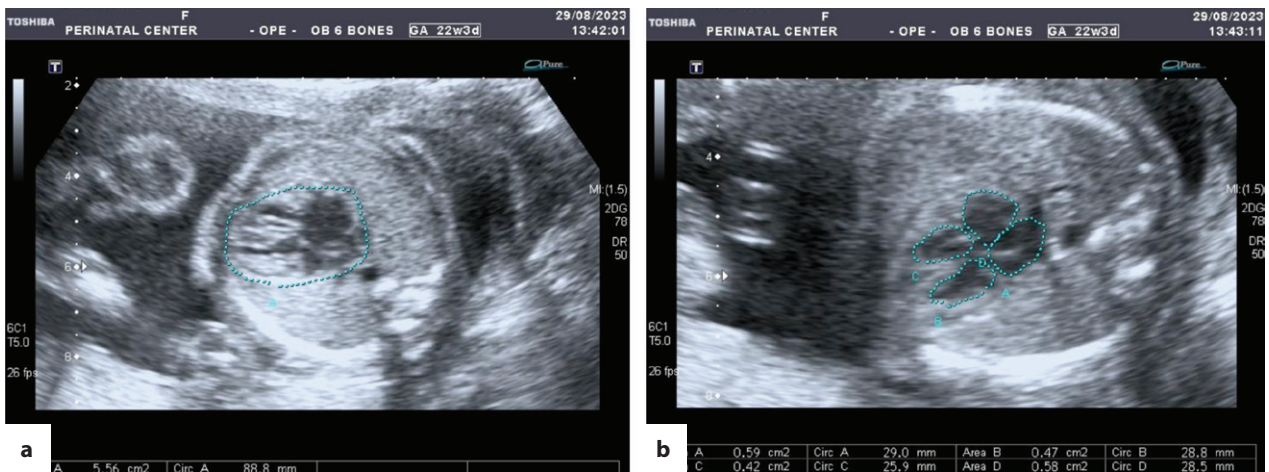


Рисунок 5. Площади сердца (а), его камер (b). ВПС в сроке беременности 22⁺³ недели, относящегося к 4-й клинической группе – ВПС с аномалиями конотрункуса
 Figure 5. Heart area (a), chamber areas (b) in a fetus with CHD at 22⁺³ weeks of gestation, classified into clinical group 4 – CHD with conotruncal malformations

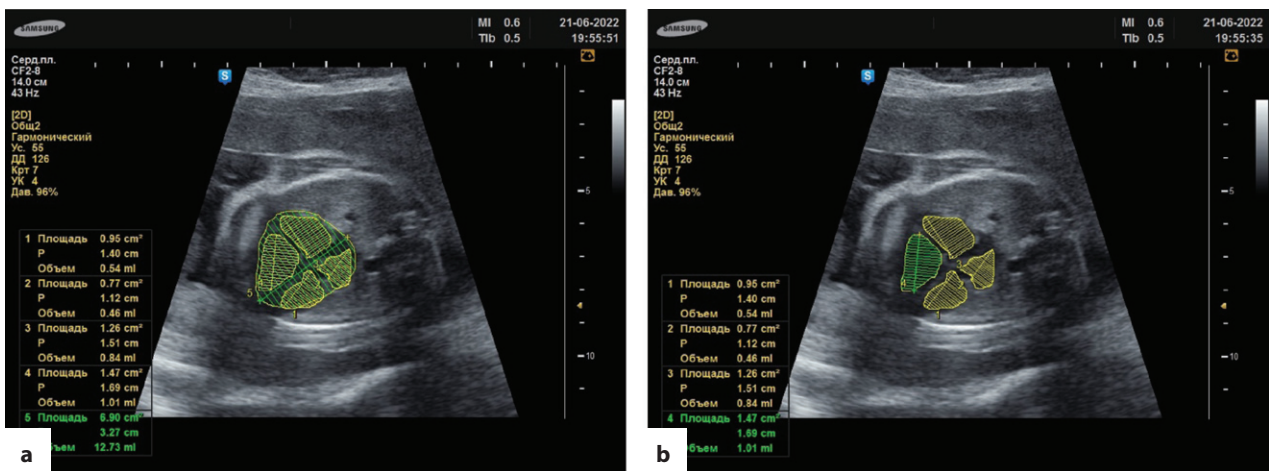


Рисунок 6. ВПС с обструкцией системного кровотока – 5-я клиническая группа. Площади сердца (а), его камер (b) с ВПС: коарктация аорты. Перимембранозный ДМЖП (32⁺² недели)
 Figure 6. CHD with obstruction to systemic blood flow – clinical group 5. Heart area (a), chamber areas (b) in CHD: coarctation of the aorta. Perimembranous ventricular septal defect

Таблица 3
Сравнение ККИ у плодов с ВПС и здоровых во втором триместре
Table 3

Comparison of the CCI in fetuses with CHD and healthy fetuses during the second trimester

Показатели ККИ	1-я группа	2-я группа	3-я группа	4-я группа	5-я группа	Здоровые
ККИ _{ПП}	0,06	0,06	0,24	0,1	0,07	0,11
ККИ _{ЛП}	0,07	0,06	0,09	0,11	0,12	0,13
ККИ _{ПЖ}	0,15	0,12	0,25	0,08	0,08	0,11
ККИ _{ЛЖ}	0,16	0,16	0,16	0,12	0,05	0,14

ККИ рассчитаны при различных пороках развития и сопоставлены с аналогичными показателями здоровых плодов (табл. 3).

Для здорового сердца характерно то, что все ККИ находятся в интервале от 0,11 до 0,14, а при разных клинических ВПС варьируют от 0,05 до 0,25 из-за нарушения фетального кровотока, что указывает на наличие ВПС с обогащённым легочным кровотоком и ВПС при аномалиях легочно-венозного соединения. При ВПС с обеднённым легочным кровотоком, аномалии конотрункуса и при обструкции системного кровотока, наряду с УЗИ сердца плода, необходимо проводить и МРТ. По всей видимости, при проведении УЗИ во время второго скрининга, необходимо учитывать данные измерения S сердца и его камер, учитывая также диаметр главных сосудов и соотношение камер сердца друг к другу (правого предсердия к левому и правого желудочка к левому). При проведении УЗИ сердца плода во втором триместре считать значения площадей $K1=S_{ПП}$, $K2=S_{ЛП}$, $K3=S_{ПЖ}$, $K4=S_{ЛЖ}$ и $K=S_{сердца}$, вышеуказанные показатели принимают значения: $K1=0,26-0,46 \text{ мм}^2$; $K2=0,27-0,53 \text{ мм}^2$; $K3=0,25-0,46 \text{ мм}^2$; $K4=0,34-0,64 \text{ мм}^2$ и значение общей площади сердца $K=2,57-3,97 \text{ мм}^2$.

Высокое легочно-сосудистое сопротивление, свойственное фетальному типу кровообращения, ограничивает кровоток в малом круге. Преобладание поперечного сечения ЛП над ПП является характерным для внутриутробного кровообращения. Подобная тенденция отмечается и в отношении желудочков. Для гемодинамики ВПС, сопряжённых с обструкцией системного кровотока, характерно повышение давления в ЛЖ и ЛП, приводящее к ограничению правого сброса на уровне открытого овального окна. Длительное высокое конечно-диастолическое давление в ЛЖ формирует фиброэластоз, что является неблагоприятным прогностическим признаком постнатальных нарушений контрактильности и сердечной недостаточности [14, 15]. Нарушение легочно-венозного возврата способствует снижению объёмной нагрузки левых отделов, сопровождаемая уменьшением S ЛП и ещё более значимого превалирования правых отделов [16].

Обсуждение

Сегодня отсутствуют четкие критерии постановки диагноза ВПС при использовании методов визуализации во время исследования ССС плода. Сложности заключаются в отсутствии критериев нормальных размеров площади сердца и его камер у здоровых плодов. Попытка определить границы нормы при измерении S сердца и его камер показала: у здоровых плодов площади сердца находятся в диапазоне 2,57–3,97 мм². Для плодов с ВПС характерен показатель S сердца от 2,56 мм² и ниже и от 3,98 мм² и выше.

При этом следует считать нормальными следующие показатели: S ПП в интервале 0,26–0,46 мм²; S ЛП 0,27–0,53 мм²; S ПЖ 0,25–0,46 мм²; S ЛЖ 0,34–0,64 мм². При ВПС плода измерение S ПП составляет от 0,25 мм² и ниже и 0,47 мм² и выше; S ЛП соответственно 0,26 мм² и ниже и 0,54 мм² и выше; S ПЖ соответственно 0,24 мм² и ниже и 0,47 мм² и выше; S ЛЖ соответственно 0,33 мм² и ниже и 0,65 мм² и выше. Выходящие за принятые рамки показатели рекомендуем рассматривать как возможное наличие ВПС плода и дополнительно проводить МРТ сердца для уточнения диагноза.

Нами получена приоритетная справка на поданную заявку патента «Способ выявления порока сердца у плода беременных женщин во втором триместре» № 003412 от 23.01.2025, регистрационный номер 2025101442.

Выводы

Определение S сердца в интервале от 2,57 мм² до 3,97 мм² следует рассматривать как отсутствие ВПС плода. При трудностях в дифференцировке необходимо измерить S камер и при установленных нормальных показателях считать плод здоровым. Целесообразно рассчитать ККИ, который у здоровых плодов составляет 0,11–0,14. У плодов с ВПС с обогащённым легочным кровотоком, при аномалиях легочно-венозного соединения, он варьирует в пределах от 0,05 до 0,25 за счёт нарушения фетального кровотока. При ВПС с обеднённым кровотоком ККИ_{ПЖ}=0,12, при аномалиях конотрункуса ККИ_{ЛП}=0,11 и ККИ_{ЛЖ}=0,12 и при ВПС с обструкцией системного кровотока ККИ_{ЛП}=0,11, что требует

дополнительного проведения МРТ сердца после скрининга в 18–21^{–6} недель. Гемодинамика ВПС с обструкцией системного кровотока характеризуется повышением давления в левых отделах сердца, что ограничивает право-левый сброс на уровне открытого овального окна [14–16] и демонстрируется показателями ККИ левых отделов сердца. Поиск методов своевременного выявления ВПС плода направлен на совершенствование методов исследования и аппаратов УЗИ, внедрение фетальной кардио-МРТ. Мультиmodalный подход, рассматриваемый при диагностике ВПС плода, имеет широкие перспективы и возможности, о чем мы сообщали ранее [17].

Вклад авторов

Разработка концепции и дизайна исследования:

М.Н Карахалис

Подготовка и редактирование текста: М.Н Карахалис, А.В Поморцев, Н.В Кривоносова

Разработка методологии: М.Н Карахалис, А.В Поморцев

Сбор, анализ и интерпретация данных: М.Н Карахалис, Н.В Кривоносова

Утверждение готовой версии: М.Н Карахалис, А.В Поморцев

Author contributions

Concept and design: Karakhalis

Manuscript drafting and revising: Karakhalis, Pomortsev, Krivonosova

Methodology: Karakhalis, Pomortsev

Acquisition, analysis, or interpretation of data: Karakhalis, Krivonosova

Final approval of the version to be published: Karakhalis, Pomortsev

Литература/References

- Lloyd DF, van Amerom JF, Pushparajah K, et al. An exploration of the potential utility of fetal cardiovascular MRI as an adjunct to fetal echocardiography. *Prenat Diagn.* 2016;36(10):916-925. PMID: 27521762. PMCID: PMC5082528. <https://doi.org/10.1002/pd.4912>
- Sun L, Lee FT, van Amerom JFP, Freud L, Jaeggi E, Macgowan CK, et al. Update on fetal cardiovascular magnetic resonance and utility in congenital heart disease. *Journal of Congenital Cardiology.* 2021;5(1). <https://doi.org/10.1186/s40949-021-00059-x>
- Haris K, Hedström E, Kording F, et al. Free-breathing fetal cardiac MRI with doppler ultrasound gating, compressed sensing, and motion compensation. *J Magn Reson Imaging.* 2020;51(1):260-272. PMID: 31228302. PMCID: PMC6916642. <https://doi.org/10.1002/jmri.26842>
- Vollbrecht TM, Hart C, Zhang S, et al. Fetal Cardiac Cine MRI with Doppler US Gating in Complex Congenital Heart Disease. *Radiol Cardiothorac Imaging.* 2023;5(1):e220129. PMID: 36860838. PMCID: PMC9969216. <https://doi.org/10.1148/ryct.220129>
- Tavares de Sousa M, Hecher K, Yamamura J, et al. Dynamic fetal cardiac magnetic resonance imaging in four-chamber view using Doppler ultrasound gating in normal fetal heart and in congenital heart disease: comparison with fetal echocardiography. *Ultrasound Obstet Gynecol.* 2019;53(5):669-675. PMID: 30381848. <https://doi.org/10.1002/uog.20167>
- Roy CW, van Amerom JFP, Marini D, Seed M, Macgowan CK. Fetal Cardiac MRI: A Review of Technical Advancements. *Top Magn Reson Imaging.* 2019;28(5):235-244. PMID:

31592990. PMCID: PMC6791520. <https://doi.org/10.1097/rmr.0000000000000218>

7. Lloyd DFA, Pushparajah K, Simpson JM, et al. Three-dimensional visualisation of the fetal heart using prenatal MRI with motion-corrected slice-volume registration: a prospective, single-centre cohort study. *Lancet.* 2019;393(10181):1619-1627. PMID: 30910324. PMCID: PMC6484696. [https://doi.org/10.1016/s0140-6736\(18\)32490-5](https://doi.org/10.1016/s0140-6736(18)32490-5)

8. Qi H, Cruz G, Botnar R, Prieto C. Synergistic multi-contrast cardiac magnetic resonance image reconstruction. *Philos Trans A Math Phys Eng Sci.* 2021;379(2200):20200197. PMID: 33966456. <https://doi.org/10.1098/rsta.2020.0197>

9. Цибилова В.И., Первунина Т.М., Артеменко В.А., и др. Ключевая функция плаценты в формировании врожденного порока сердца плода. *Акушерство, гинекология и репродукция.* 2022;16(1):66-72. <https://doi.org/10.17749/2313-7347/ob.gyn.rep.2022.262>

Tsibizova VI, Pervunina TM, Artemenko VA, et al. Placenta crucially affects formation of fetal congenital heart disease. *Obstetrics, Gynecology and Reproduction.* 2022;16(1):66–72. <https://doi.org/10.17749/2313-7347/ob.gyn.rep.2022.262>

10. Поморцев А.В., Карахалис М.Н., Матулович С.А., Дашян Г.А., Халафян А.А., Сенча А.Н. Пороки развития сердца плода: факторы риска и возможности ультразвукового метода при первом скрининге. *Инновационная медицина Кубани.* 2023;(4):51-59. <https://doi.org/10.35401/2541-9897-2023-8-4-51-59>

Pomortsev A.V., Karakhalis M.N., Matulevich S.A., Dashchyan G.A., Khalafyan A.A., Sencha A.N. Congenital Heart Diseases: Risk Factors and Ultrasound Diagnostic Potential at the First Screening. *Innovative Medicine of Kuban.* 2023;(4):51-59. (In Russ.) <https://doi.org/10.35401/2541-9897-2023-8-4-51-59>

11. Халафян А.А. STATISTICA 6. Математическая статистика с элементами теории вероятностей. Москва: Бином; 2010. Khalafyan A.A. STATISTICA 6. Matematicheskaya statistika s elementami teorii veroyatnostey. Moscow: Binom; 2010. (In Russ.).

12. Vonck S, Staelens AS, Lanssens D, et al. Low Volume Circulation in Normotensive Women Pregnant with Neonates Small for Gestational Age. *Fetal Diagn Ther.* 2019;46(4):238-245. PMID: 30726847. <https://doi.org/10.1159/000495507>

13. Fu Q. Hemodynamic and Electrocardiographic Aspects of Uncomplicated Singleton Pregnancy. *Adv Exp Med Biol.* 2018;1065:413-431. PMID: 30051399. https://doi.org/10.1007/978-3-319-77932-4_26

14. Barkhordarian M, Ghorbanzadeh A, Frishman WH, Aronow WS. Endocardial Fibroelastosis: A Comprehensive Review. *Cardiol Rev.* 2024. PMID: 38230923. <https://doi.org/10.1097/crd.0000000000000653>

15. Aldawsari KA, Alhuzaimi AN, Alotaibi MT, Albert-Brontons DC. Endocardial fibroelastosis in infants and young children: a state-of-the-art review. *Heart Fail Rev.* 2023;28(5):1023-1031. PMID: 37222928 <https://doi.org/10.1007/s10741-023-10319-0>

16. Zhou Q, Liu D, Zhou J, et al. Factor Analysis of the Missed Diagnosis of Total Anomalous Pulmonary Venous Connection in Prenatal Echocardiography. *Birth Defects Res.* 2024;116(12):e2426. PMID: 39691945. <https://doi.org/10.1002/bdr2.2426>

17. Поморцев А.В., Карахалис М.Н., Кривоносова Н.В., Голосеев К.Ф. Мультиmodalный подход (МРТ и УЗИ) в диагностике врожденных пороков сердца плода. *Инновационная медицина Кубани.* 2024;(4):21-29. <https://doi.org/10.35401/2541-9897-2024-9-4-21-29>

Pomortsev A.V., Karakhalis M.N., Krivonosova N.V., Goloseev K.F. Multimodal Approach (MRI and Ultrasonography) to the Diagnosis of Fetal Congenital Heart Diseases. *Innovative Medicine of Kuban.* 2024;(4):21-29. <https://doi.org/10.35401/2541-9897-2024-9-4-21-29>

Сведения об авторах

Карахалис Марк Николаевич, аспирант кафедры лучевой диагностики № 1 ФПК и ППС, Кубанский государственный медицинский университет (Краснодар, Россия). <https://orcid.org/0000-0003-0604-4744>

Поморцев Алексей Викторович, д. м. н., профессор, заведующий кафедрой лучевой диагностики № 1 ФПК и ППС, Кубанский государственный медицинский университет (Краснодар, Россия). <https://orcid.org/0000-0003-4129-3930>

Кривоносова Наталья Владимировна, к. м. н., доцент кафедры акушерства, гинекологии и перинатологии ФПК и ППС, Кубанский государственный медицинский университет; врач ультразвуковой диагностики, Детская краевая клиническая больница (Краснодар, Россия). <https://orcid.org/0000-0002-8222-5670>

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Author credentials

Mark N. Karakhalis, Postgraduate Student, Diagnostic Radiology Department No. 1, Faculty of Continuing Professional Development and Retraining, Kuban State Medical University (Krasnodar, Russian Federation). <https://orcid.org/0000-0003-0604-4744>

Aleksey V. Pomortsev, Dr. Sci. (Med.), Professor, Head of the Diagnostic Radiology Department No. 1, Faculty of Continuing Professional Development and Retraining, Kuban State Medical University (Krasnodar, Russian Federation). <https://orcid.org/0000-0003-4129-3930>

Natalia V. Krivonosova, Cand. Sci. (Med.), Associate Professor, Department of Obstetrics, Gynecology and Perinatology, Faculty of Continuing Professional Development and Retraining, Kuban State Medical University; Sonologist, Children's Regional Clinical Hospital (Krasnodar, Russian Federation). <https://orcid.org/0000-0002-8222-5670>

Conflict of interest: none declared.