



Искусственный интеллект в фетальной эхокардиографии

©Е.Л. Бокерия^{1,2}, Н.Е. Яннаева^{1,3}, А.Н. Сенча^{1,6*}, П.В. Метелкин⁴, О.В. Юрченко⁵

¹Национальный медицинский исследовательский центр акушерства, гинекологии и перинатологии им. акад. В.И. Кулакова, Москва, Россия

²Первый Московский государственный медицинский университет им. И.М. Сеченова (Сеченовский Университет), Москва, Россия

³Рязанский государственный медицинский университет им. акад. И.П. Павлова, Рязань, Россия

⁴ЗащитаИнфоТранс, Подведомственное учреждение Министерства транспорта Российской Федерации, Москва, Россия

⁵Приволжская медицинская компания, Самара, Россия

⁶Российский национальный исследовательский медицинский университет им. Н.И. Пирогова, Москва, Россия

* А.Н. Сенча, *h*-индекс в Scopus 5, Национальный медицинский исследовательский центр акушерства, гинекологии и перинатологии им. акад. В.И. Кулакова, 117997, Москва, ул. Академика Опарина, д. 4, senchavyatka@mail.ru

Поступила в редакцию 31 мая 2024 г. Исправлена 13 сентября 2024 г. Принята к печати 3 октября 2024 г.

Резюме

Актуальность: Врожденные пороки сердца (ВПС) – это одни из наиболее распространенных пороков развития плода, которые встречаются с частотой 5–9 на 1 тыс. новорожденных. ВПС развития занимают второе место среди причин младенческой смертности и составляют 47% всех причин смерти от пороков развития.

Основным методом оценки анатомии и функции сердца является 2D УЗИ. Технологии искусственного интеллекта превосходно справляются с распознаванием изображений, это позволяет быстро сканировать и анализировать визуальную информацию, а также ускорить и упростить процесс ультразвуковой диагностики.

Во всех программах искусственного интеллекта (ИИ), применяемых в акушерстве, используются статические кадры. В нашей работе, проведенной на базе ФГБУ «НМИЦ АГП им. акад. В.И. Кулакова» в 2022–2023 гг., мы использовали видеофайлы, включающие от одного до пяти стандартных срезов сердца на каждого плода.

Цель исследования: Создание набора данных для разработки ИИ-сервиса, повышающего качество диагностики ВПС плода.

Задача работы: Формирование алгоритма осмотра сердца плода при помощи ИИ. Полученное в результате медицинское заключение могло быть в одном из двух вариантов: «норма» – правильное строение сердца (ВПС нет); «не норма» – неправильное строение сердца (нельзя исключить наличие ВПС), рекомендована расширенная эхокардиография плода в кратчайшие сроки.

Методы: Исследование проводилось на сроке беременности 18–21 недель. Каждое исследование на одного пациента содержало видеофайлы пяти стандартных проекций сердца. Каждый срез представлен не менее 25 кадрами. Верификация была выполнена путем подтверждения/изменения диагноза врачом-экспертом, а также подтверждением диагноза после рождения.

Заключение: В результате выполнения работ задача определения зон грудной клетки и сердца плода решена с точностью ~98%; задача классификации среза сердца на кадре решена с точностью ~82%, задача определения патологии на срезах сердца решена с точностью ~77%.

Ключевые слова: врожденные пороки сердца, искусственный интеллект, фетальная эхокардиография

Цитировать: Бокерия Е.Л., Яннаева Н.Е., Сенча А.Н., Метелкин П.В., Юрченко О.В. Искусственный интеллект в фетальной эхокардиографии. *Инновационная медицина Кубани*. 2024;9(4):14–20. <https://doi.org/10.35401/2541-9897-2024-9-4-14-20>

Artificial Intelligence in Fetal Echocardiography

©Ekaterina L. Bokerija^{1,2}, Natalia E. Yannaeva^{1,3}, Alexander N. Sencha^{1,6*}, Petr V. Metelkin⁴,
Oxana V. Yurchenko⁵

¹National Medical Research Center for Obstetrics, Gynecology and Perinatology named after Academician V.I. Kulakov, Moscow, Russian Federation

²I.M. Sechenov First Moscow State Medical University, Moscow, Russian Federation

³Ryazan State Medical University named after Academician I.P. Pavlov, Ryazan, Russian Federation

⁴ZashchitalInfoTrans, Ministry of Transport of the Russian Federation, Moscow, Russian Federation

⁵Volga Medical Company, Samara, Russian Federation

⁶Pirogov Russian National Research Medical University, Moscow, Russian Federation

* Alexander N. Sencha, Scopus *h*-index 5, National Medical Research Center for Obstetrics, Gynecology and Perinatology named after Academician V.I. Kulakov, Moscow, 117997, Russian Federation, senchavyatka@mail.ru

Received: May 31, 2024. Received in revised form: September 13, 2024. Accepted: October 3, 2024.



Abstract

Background: Congenital heart diseases (CHD) are one of the most common birth defects, occurring in 5-9 per 1000 newborns. CHD are the second leading cause of infant mortality and account for 47% of all causes of death from birth defects.

The main method for assessing the anatomy and function of the heart is 2-dimensional ultrasonography. Artificial intelligence (AI) technologies are great at recognizing images, thus facilitating quick scanning and analysis of visual information in order to speed up and simplify the diagnostic ultrasonography.

All AI software for obstetrics use static images. In our study conducted at the National Medical Research Center for Obstetrics, Gynecology and Perinatology named after Academician V.I. Kulakov (Moscow, Russian Federation) in 2022-2023, we used video files including 1-5 standard heart views for each fetus.

Objective: To create a data set for development of an AI tool that improves the quality of fetal CHD diagnosis and to develop an algorithm for examining the fetal heart using AI. Resulting medical reports could be either “normal” (correct structure of the heart; no sign of CHD) or “abnormal” (incorrect structure of the heart; CHD cannot be excluded; extended fetal echocardiography is recommended as soon as possible).

Materials and methods: The examination was conducted at 18-21 weeks’ gestation. Each examination contained video files of 5 standard views of the heart per patient. Each view is at least 25 frames. Verification was performed by confirming/changing the diagnosis by a physician and confirming the diagnosis after birth.

Conclusions: As a result, the task of determining zones of the fetal chest and heart was solved with an approximate accuracy of 98%; the task of classifying the heart view on the frame was solved with an approximate accuracy of 82%, and the task of determining the disease on the heart views was solved with an approximate accuracy of 77%.

Keywords: congenital heart diseases, artificial intelligence, fetal echocardiography

Cite this article as: Bokerija EL, Yannaeva NE, Sencha AN, Metelkin PV, Yurchenko OV. Artificial intelligence in fetal echocardiography. *Innovative Medicine of Kuban*. 2024;9(4):14–20. <https://doi.org/10.35401/2541-9897-2024-9-4-14-20>

Введение

Врожденные пороки сердца (ВПС) – это одни из наиболее распространенных пороков развития плода, которые встречаются с частотой 5–9 на 1 тыс. новорожденных [1–3].

ВПС развития занимают второе место среди причин младенческой смертности и составляют 47% (12,2 на 10 тыс. родившихся живыми) всех причин смерти от пороков развития [4].

Фактически не менее 60% случаев ВПС требуют хирургической коррекции, и из них 25% являются критическими [3, 5].

Выживаемость детей, объем и качество медицинской помощи, оказываемой в раннем неонатальном периоде новорожденным с ВПС, зависят от времени постановки диагноза и тяжести патологии. Ранняя диагностика пороков сердца у плода, поддающихся хирургической коррекции, снижает риск перинатальной заболеваемости и смертности [6, 7].

Также пренатальная диагностика пороков сердца плода предоставляет семьям еще до рождения важную информацию о диагнозе, потенциальных вариантах лечения, тактике ведения и маршрутизации ребенка после рождения, что может значительно улучшить показатели выживаемости детей.

Основным методом оценки состояния плода, в том числе анатомии и функции сердца, является 2D УЗИ из-за низкой стоимости, широкой доступности, возможности проведения исследования в режиме реального времени и отсутствия вредного излучения [8]. В настоящее время в большинстве стран предлагается хотя бы одно плановое ультразвуковое исследование примерно в середине беременности, между 18 и 22 неделями беременности [9]. В Российской Федерации, согласно Приказу № 1130 н Минздрава

России, проведение 2-го ультразвукового скрининга при сроке 19–21 неделя беременности является обязательным.

Для анализа анатомии сердца на основании рекомендаций Международного общества ультразвуковой диагностики в акушерстве и гинекологии (International Society of Ultrasound in Obstetrics and Gynecology, ISUOG) (2023) включены пять стандартных проекций сердца и, по данным мировой литературы, при соблюдении правил выведения этих срезов возможность диагностики сложных ВПС составляет 90% [10, 11]. Однако на практике чувствительность составляет всего 30% [12, 13]. И даже там, где проводится экспертное ультразвуковое исследование плода, специфичность также неоптимальна и составляет всего 40–50% [12].

Качественная оценка анатомии сильно зависит от подготовки, навыков и опыта специалиста [12–15]. В большинстве случаев пропущенных ВПС либо изображение сердца плода получено неправильно, либо дефект не был распознан врачами и оператором [16]. Кроме того, в отдаленных районах не хватает хорошо подготовленных врачей, что делает невозможным или мало выполнимым проведение эхокардиографии плода.

Применение искусственного интеллекта (ИИ) в эхокардиографии в настоящее время широко изучается и в последние годы стало горячей точкой исследований, поскольку это может помочь оптимизировать диагностический потенциал эхокардиографии, избежать ненужных исследований и в целом снизить стоимость ведения пациентов с патологией сердечно-сосудистой системы [17].

Технология ИИ применяется в исследовании сердца взрослого человека для обработки нескольких модальных изображений, таких как вспомогательная

электрокардиографическая диагностика [18], компьютерная томография (КТ) сердца [19] и радионуклидная визуализация перфузии миокарда [20]. В ультразвуковой диагностике состояния сердечно-сосудистой системы взрослых людей также были применены возможности автоматической обработки изображений [21–23]. На сегодняшний день существуют специализированные кардиологические программы на основе ИИ на ультразвуковых приборах: Caption Guidance (Caption Health, США) и UltraSight (Израиль), EchoGo (Ultramics, США), которые дают врачам пошаговые инструкции по уверенному получению ультразвуковых изображений для оценки состояния сердца.

Наконец, недавно методы машинного обучения стали применяться для улучшения пренатальной диагностики врожденных пороков сердца. L. Yeo и соавт. (2013) представили интеллектуальный метод навигации под названием FINE (Fetal Intelligent Navigation Echocardiography), позволяющий автоматически получать различные эхокардиографические анатомические изображения сердца плода и выявлять аномалии в анатомии сердца [24].

В нескольких исследованиях сообщалось об успешных результатах, касающихся способности ИИ сегментировать, классифицировать и обнаруживать ВПС на основе медицинских изображений [25–28]. Однако в большинстве работ вопросы анализа внутрикамерных границ сердца остаются нерешенными [26]. Предыдущие исследования предлагали извлекать изображения сердца путем выбора подходящих областей интереса (Region of Interest, RoI) [21]. При этом в эксперименте методы обнаружения исследуемых объектов работают только для одного среза-кандидата, их трудно реализовать для обнаружения нескольких срезов-кандидатов.

S. Nurmaini и соавт. (2021) рекомендовали сделать эхокардиографию плода автоматической. В исследовании предлагается компьютерная эхокардиография сердца плода на основе глубокого обучения с использованием подхода сегментации экземпляров, который по своей сути сегментирует четыре стандартных изображения сердца и одновременно обнаруживает дефект. Авторы использовали 1149 изображений нормального сердца плода (без ВПС) в четырех стандартных срезах сердца плода и в трех случаях врожденного порока сердца. Результат показал, что предложенная модель имеет удовлетворительные результаты при сегментации стандартных срезов: пересечение по объединению составило 79,97%, а сходство коэффициента Дайса – 89,70%. Также были получены хорошие результаты при обнаружении ВПС со средней точностью около 98,30% для вариаций внутри изображений у одного пациента и 82,42% для вариаций между пациентами [28].

В ходе недавнего исследования большого объема данных R. Agnaut и соавт. (2021) разработали ансамбль нейронных сетей для определения рекомендуемых изображений сердца и диагностики сложных ВПС, который достиг чувствительности 95% и специфичности 96%. Это исследование также продемонстрировало, что классификатор принимал решения на основе клинически значимых особенностей изображений, а преодоление проблем отсутствия опыта и низкого качества изображений были ключевыми моментами в диагностике ВПС с помощью искусственного интеллекта [21].

В 2022–2023 гг. в Китае также проведено несколько исследований по применению ИИ в эхокардиографии плода [29]. Результаты экспериментов показали, что использование методов машинного обучения позволяет эффективно идентифицировать анатомические структуры различных отделов сердца плода и судить о соответствии анатомических срезов сердца стандартам нормы, что может дать врачам УЗИ вспомогательную диагностическую основу для сканирования и значительно повысить эффективность диагностики ВПС плода во время беременности.

Во всех программах ИИ, описанных выше, используются статические кадры. Однако выведение качественного информативного кадра стандартного среза сердца плода иногда занимает больше времени врача, чем сохранение видеофайла с той же проекцией сердца. Также при видеофиксации кадры, свидетельствующие о наличии ВПС, с большей вероятностью попадут в поле зрения анализатора (врача или ИИ). В связи с этим мы в нашей работе, проведенной на базе ФГБУ «НМИЦ АГП им. В.И. Кулакова» в 2022–2023 гг., использовали видеофайлы, включающие от одного до пяти стандартных срезов сердца, и видеофайл, содержащий информацию о расположении сердца и желудка у плода.

Цель исследования

Создание набора данных для разработки ИИ-сервиса, повышающего качество диагностики ВПС плода.

Задача работы

Формирование алгоритма осмотра сердца плода при помощи ИИ. Полученное в результате медицинское заключение могло быть в одном из двух вариантов: «норма» – правильное строение сердца (ВПС нет); «не норма» – неправильное строение сердца (нельзя исключить наличие ВПС), рекомендована расширенная эхокардиография плода в кратчайшие сроки.

Предполагается, что система ИИ должна автоматически проверять:

- ✓ полноту записи изображений сердца во время скрининга плода, обеспечивая запись всех стандартных срезов сердца,
- ✓ оценивать и контролировать качество этих изображений в соответствии с рекомендациями ISUOG.

Материалы и методы

Исследование проводилось на базе ФГБУ «Национальный медицинский исследовательский центр акушерства, гинекологии и перинатологии им. акад. В.И. Кулакова» Министерства здравоохранения РФ в период с ноября 2023 по май 2024 г. (одноцентровое).

Общее количество исследований составило 2016, количество кадров – 659 324 jpg файлов (рис. 1). Количество кадров с патологией – 27 886 jpg (13% от общего количества кадров). При этом, если хотя бы один кадр в серии кадров одной проекции отмечен как патология, то все кадры в этой серии принимают класс «патология».

Весь исходный набор данных был разделен на три выборки:

- ✓ обучающая выборка – 459 631 кадр (~70% от исходного количества кадров);
- ✓ валидационная выборка – 100 652 кадров (~15% от исходного количества кадров);
- ✓ тестовая выборка – 99 041 кадр (~15% от исходного количества кадров).

Каждое исследование на одного пациента содержало видеофайлы следующих проекций сердца:

1. Видеофайл желудок-сердце, подтверждающий правильное положение сердца в грудной клетке.
2. Четырехкамерный срез сердца.
3. Срез через три сосуда и трахею.
4. Выходной тракт левого желудочка.
5. Выходной тракт правого желудочка.
6. Сагиттальный срез аорты или V-скан.

Исследование проводилось на сроке 18–21 недель. Каждый срез должен был представлен не менее, чем 25 кадрами. Целевым признаком полноты проведенного исследования являлось наличие всех требуемых срезов.

Верификация была выполнена путем подтверждения/изменения диагноза врачом-экспертом, а также подтверждением диагноза после рождения.

Результаты

В ходе проведенных работ были достигнуты следующие результаты:

1. В ходе валидации процесса разметки была разработана методология, позволившая сформировать качественный набор данных, на основании которого были проведены все дальнейшие работы по обучению моделей компьютерного зрения и оценке эффективности этих моделей.

2. Обученные модели включают в себя решения по следующим задачам:

- определение зон грудной клетки и сердца плода;
- определение срезов сердца;
- выявление наличия патологии на срезах сердца.

Детекция областей плода

Задача определения зон грудной клетки и сердца плода решена с точностью ~98% и требует доработки только в случае необходимости покрытия специфичных граничных случаев (табл. 1).

Детекция стандартных проекций сердца

Задача классификации среза сердца на кадре решена с точностью ~82% и дает достаточно хорошую классификацию срезов, особенно для четырехкамерного и сагиттального срезов дуги аорты, а также до определенной степени, выносящий тракт из левого желудочка (left ventricular outflow tract, LVOT) (табл. 2).

Наибольшую сложность представляют собой срезы через 3 сосуда (3V), выносящий тракт из правого

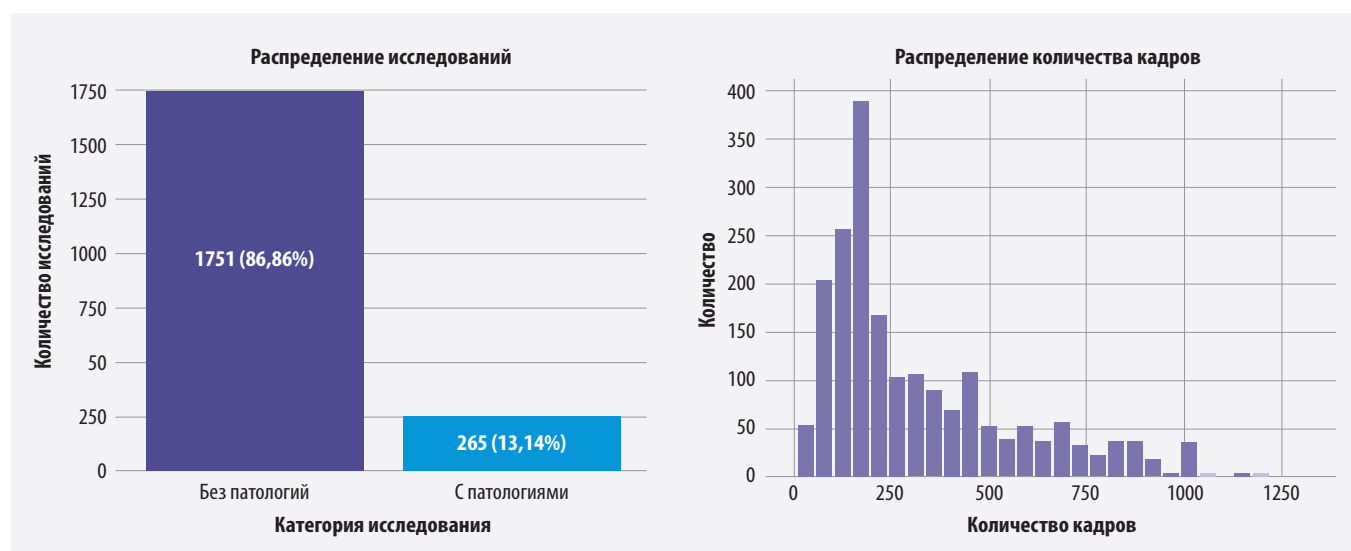


Рисунок 1. Распределение исследований по норме, наличие патологии сердца у плода и распределение количества кадров

Figure 1. The distribution of examinations according to normal and abnormal (fetal heart disease) findings and the distribution of the number of frames

Таблица 1
Детекция областей плода
Table 1
Detection of fetal zones

Тип модели	Пороги Conf/IoU	Фоновые кадры – сердце	Фоновые кадры – грудная клетка	Precision	Recall	mAP50	MAP50-95
YOLOs без фона	0,001/0,3	99,8%	88,5%	0,984	0,984	0,985	0,632

Таблица 2
Детекция стандартных проекций сердца
Table 2
Detection of standard heart views

	специфичность	точность	recall	f1-score	Кол-во кадров
Тэг: four_chamber	0.957	95,1%	0.952	0.952	15099
Тэг: LVOT	0.956	84%	0.905	0.872	6514
Тэг: SagitAO	0.999	98,7%	0.947	0.967	2224
Тэг: 3V	0.904	64,5%	0.791	0.711	6261
Тэг: VScan	0.968	64,2%	0.569	0.603	2980
Тэг: RVOT	0.968	61,1%	0.38	0.468	3960

Прим.: Тэг: four_chamber – четырехкамерный срез;
Тэг: LVOT – выносящий тракт из левого желудочка;
Тэг: SagitAO – сагиттальный срез дуги аорты;
Тэг: 3V – срез через три сосуда;
Тэг: VScan – место соединения аорты и артериального протока;
Тэг: RVOT – выносящий тракт из правого желудочка

Note: Tag: four_chamber, 4-chamber view;
Tag: LVOT, left ventricular outflow tract;
Tag: SagitAO, sagittal view of the aortic arch;
Tag: 3V, 3-vessel view;
Tag: VScan, junction of the aorta and ductus arteriosus;
Tag: RVOT, right ventricular outflow tract

Таблица 3
Детекция патологии на стандартных срезах сердца
Table 3
Disease detection on standard heart views

	специфичность	точность	recall	f1-score	Кол-во кадров
No_pathology	0,471	77,3%	0,931	0,845	24398
pathology	0,931	78%	0,471	0,588	12640

Прим.: No_pathology – файлы без патологии сердца (норма)
Pathology – файлы с патологией сердца (ультразвуковые признаки ВПС)
Note: No_pathology, files with a heart disease (“normal”)
Pathology, files with a heart disease (sonographic signs of CHD)

желудочка (right ventricular outflow tract, RVOT) и VScan (место соединения аорты и артериального протока), в связи с высокой степенью их взаимной схожести и возможностью нахождения сразу нескольких срезов на одном кадре.

Детекция патологии на стандартных срезах сердца
Задача классификации наличия отклонений на срезах сердца на кадре является наиболее сложной из поставленных и решена с точностью ~77% (в рамках размеченных кадров) (табл. 3). Подавляющее число патологий в данных присутствуют на четырехкамерном срезе, в связи с чем он имеет наилучшие показатели среди прочих.
В результате выполнения работ были получены следующие метрики качества по каждой из задач:
✓ Задача определения зон грудной клетки и сердца плода решена с точностью ~98%
✓ Задача классификации среза сердца на кадре решена с точностью ~82%

✓ Задача классификации наличия патологии на срезах сердца решена с точностью ~77%

Выводы

Машинное обучение – это метод, требующий больших объемов данных. Нами продемонстрировано, что небольшое количество видеофайлов, полученных при эхокардиографии плода, можно использовать для значительного улучшения диагностики по сравнению с тем, что обычно встречается на практике.
Учитывая очевидную пользу ранней диагностики и лечения ВПС, а также растущее количество внутриутробных вмешательств, потребность в точном масштабированном скрининге плода на пороки развития сердца никогда не была столь острой. В то же время чувствительность и специфичность выявления патологии сердца весьма различаются в центрах и клиниках по всей стране и во многих центрах остаются довольно низкими.

Результаты показали, что алгоритм искусственного интеллекта может повысить точность ультразвукового сканирования сердца плода и имеет хорошую прикладную ценность. Компьютерная автоматическая идентификация и классификация позволяют значительно сэкономить время, обеспечить эффективность и повысить точность диагностики по сравнению со сканированием сердца плода специалистом ультразвуковой диагностики.

Однако во время диагностической интерпретации порока сердца у плода определяющим является мнение экспертов по фетальной эхокардиографии. Таким образом, использование методов машинного обучения в сочетании с контролирующей оценкой результата специалистами-экспертами позволяет ИИ играть важную роль в стандартизации данных об анатомии сердца плода, уменьшать количество ошибок, допускаемых неопытными сонографистами. Кроме того, ИИ может быть применен для автоматического контроля качества полученных изображений, обеспечить поддержку в клинической интерпретации диагноза, и тем самым увеличить процент ранней диагностики ВПС.

Вклад авторов

Разработка концепции и дизайна исследования: Е.Л. Бокерия
Сбор, анализ и интерпретация данных: Н.Е. Яннаева,
О.В. Юрченко

Подготовка и редактирование текста: А.Н. Сенча,
П.В. Метелкин

Author contributions

Concept and design: Bokerija

Acquisition, analysis, or interpretation of data: Yannaeva,
Yurchenko

Manuscript drafting and editing: Sencha, Metelkin

Литература/References

- McLeod G, Shum K, Gupta T, et al. Echocardiography in congenital heart disease. *Prog Cardiovasc Dis*. 2018;61(5–6):468–475. PMID: 30445162. <https://doi.org/10.1016/j.pcad.2018.11.004>
- Yoon SA, Hong WH, Cho HJ. Congenital heart disease diagnosed with echocardiogram in newborns with asymptomatic cardiac murmurs: a systematic review. *BMC Pediatr*. 2020;20(1):322. PMID: 32605548. PMCID: PMC7325562. <https://doi.org/10.1186/s12887-020-02212-8>
- Gilboa SM, Salemi JL, Nembhard WN, Fixler DE, Correa A. Mortality resulting from congenital heart disease among children and adults in the United States, 1999 to 2006. *Circulation*. 2010;122(22):2254–2263. PMID: 21098447. PMCID: PMC4911018. <https://doi.org/10.1161/CIRCULATIONAHA.110.947002>
- Под ред. Л.А. Бокерия, К.В. Шаталова. *Детская кардиохирургия: Руководство для врачей*. НЦССХ им. А.Н. Бакулева; 2016:24–40.
- Bockeria LA, Shatalov KV, eds. *Pediatric Heart Surgery: A Physicians' Guide*. NCSSH im. A.N. Bakuleva; 2016:24–40. (In Russ.).
- Facts about Critical Congenital Heart Defects. Centers for Disease Control and Prevention. Accessed February 23, 2024. <https://web.archive.org/web/20240223071414/http://www.cdc.gov/ncbddd/heartdefects/cchd-facts.html>
- Bravo-Valenzuela NJ, Peixoto AB, Araujo Júnior E. Prenatal diagnosis of congenital heart disease: a review of current knowledge. *Indian Heart J*. 2018;70(1):150–164. PMID: 29455772. PMCID: PMC5903017. <https://doi.org/10.1016/j.ihj.2017.12.005>
- Scott M, Neal AE. Congenital heart disease. *Prim Care*. 2021;48(3):351–366. PMID: 34311844. <https://doi.org/10.1016/j.pop.2021.04.005>
- Bensemlali M, Bajolle F, Laux D, et al. Neonatal management and outcomes of prenatally diagnosed CHDs. *Cardiol Young*. 2017;27(2):344–353. PMID: 27225605. <https://doi.org/10.1017/S1047951116000639>
- Salomon LJ, Alfrevic Z, Berghella V, et al; ISUOG Clinical Standards Committee. Practice guidelines for performance of the routine mid-trimester fetal ultrasound scan. *Ultrasound Obstet Gynecol*. 2011;37(1):116–126. PMID: 20842655. <https://doi.org/10.1002/uog.8831>
- Bak GS, Shaffer BL, Madriago E, et al. Detection of fetal cardiac anomalies: cost-effectiveness of increased number of cardiac views. *Ultrasound Obstet Gynecol*. 2020;55(6):758–767. PMID: 31945242. <https://doi.org/10.1002/uog.21977>
- Carvalho JS, Axt-Flidner R, Chaoui R, et al. ISUOG practice guidelines (updated): fetal cardiac screening. *Ultrasound Obstet Gynecol*. 2023;61(6):788–803. PMID: 37267096. <https://doi.org/10.1002/uog.26224>
- Donofrio MT, Moon-Grady AJ, Hornberger LK, et al; American Heart Association Adults With Congenital Heart Disease Joint Committee of the Council on Cardiovascular Disease in the Young and Council on Clinical Cardiology, Council on Cardiovascular Surgery and Anesthesia, and Council on Cardiovascular and Stroke Nursing. Diagnosis and treatment of fetal cardiac disease: a scientific statement from the American Heart Association. *Circulation*. 2014;129(21):2183–2242. Published correction appears in *Circulation*. 2014;129(21):e512. PMID: 24763516. <https://doi.org/10.1161/01.cir.0000437597.44550.5d>
- Puri K, Allen HD, Qureshi AM. Congenital heart disease. *Pediatr Rev*. 2017;38(10):471–486. PMID: 28972050. <https://doi.org/10.1542/pir.2017-0032>
- Sklansky M, DeVore GR. Fetal cardiac screening: what are we (and our guidelines) doing wrong?. *J Ultrasound Med*. 2016;35(4):679–681. PMID: 26969599. <https://doi.org/10.7863/ultra.15.07021>
- Sun HY, Proudfoot JA, McCandless RT. Prenatal detection of critical cardiac outflow tract anomalies remains suboptimal despite revised obstetrical imaging guidelines. *Congenit Heart Dis*. 2018;13(5):748–756. PMID: 30022603. PMCID: PMC7953202. <https://doi.org/10.1111/chd.12648>
- Sobhaninia Z, Rafiei S, Emami A, et al. Fetal ultrasound image segmentation for measuring biometric parameters using multi-task deep learning. *Annu Int Conf IEEE Eng Med Biol Soc*. 2019;2019:6545–6548. PMID: 31947341. <https://doi.org/10.1109/EMBC.2019.8856981>
- Kuehn BM. Cardiac imaging on the cusp of an artificial intelligence revolution. *Circulation*. 2020;141(15):1266–1267. PMID: 32282247. <https://doi.org/10.1161/CIRCULATIONAHA.120.046760>
- Hannun AY, Rajpurkar P, Haghpanahi M, et al. Cardiologist-level arrhythmia detection and classification in ambulatory electrocardiograms using a deep neural network. *Nat Med*. 2019;25(1):65–69. Published correction appears in *Nat Med*. 2019;25(3):530. PMID: 30617320. PMCID: PMC6784839. <https://doi.org/10.1038/s41591-018-0268-3>
- Brandt V, Emrich T, Schoepf UJ, et al. Ischemia and outcome prediction by cardiac CT based machine learning. *Int*

J Cardiovasc Imaging. 2020;36(12):2429–2439. PMID: 32623625. <https://doi.org/10.1007/s10554-020-01929-y>

20. Slomka PJ, Miller RJ, Isgum I, Dey D. Application and translation of artificial intelligence to cardiovascular imaging in nuclear medicine and noncontrast CT. *Semin Nucl Med*. 2020;50(4):357–366. PMID: 32540032. <https://doi.org/10.1053/j.semnuclmed.2020.03.004>

21. Arnaout R, Curran L, Chinn E, Zhao Y, Moon-Grady A. Deep-learning models improve on community-level diagnosis for common congenital heart disease lesions. *arXiv*. Deposited September 19, 2018. <https://doi.org/10.48550/arXiv.1809.06993>

22. Arnaout R. Toward a clearer picture of health. *Nat Med*. 2019;25(1):12. PMID: 30613101. <https://doi.org/10.1038/s41591-018-0318-x>

23. Ouyang D, He B, Ghorbani A, et al. Video-based AI for beat-to-beat assessment of cardiac function. *Nature*. 2020;580(7802):252–256. PMID: 32269341. PMCID: PMC8979576. <https://doi.org/10.1038/s41586-020-2145-8>

24. Yeo L, Romero R. Fetal Intelligent Navigation Echocardiography (FINE): a novel method for rapid, simple, and automatic examination of the fetal heart. *Ultrasound Obstet Gynecol*. 2013;42(3):268–284. PMID: 24000158. PMCID: PMC9651141. <https://doi.org/10.1002/uog.12563>

25. Shin HC, Roth HR, Gao M, et al. Deep Convolutional neural networks for computer-aided detection: CNN architectures, dataset characteristics and transfer learning. *IEEE Trans Med Imaging*. 2016;35(5):1285–1298. PMID: 26886976. PMCID: PMC4890616. <https://doi.org/10.1109/TMI.2016.2528162>

26. Torrents-Barrena J, Piella G, Masoller N, et al. Segmentation and classification in MRI and US fetal imaging: recent trends and future prospects. *Med Image Anal*. 2019;51:61–88. PMID: 30390513. <https://doi.org/10.1016/j.media.2018.10.003>

27. Zhang B, Liu H, Luo H, Li K. Automatic quality assessment for 2D fetal sonographic standard plane based on multitask learning. *Medicine (Baltimore)*. 2021;100(4):e24427. PMID: 33530242. PMCID: PMC7850658. <https://doi.org/10.1097/MD.00000000000024427>

28. Nurmaini S, Rachmatullah MN, Sapitri AI, et al. Deep learning-based computer-aided fetal echocardiography: application to heart standard view segmentation for congenital heart defects detection. *Sensors (Basel)*. 2021;21(23):8007. PMID: 34884008. PMCID: PMC8659935. <https://doi.org/10.3390/s21238007>

29. Wu H, Wu B, Lai F, et al. Application of artificial intelligence in anatomical structure recognition of standard section of fetal heart. *Comput Math Methods Med*. 2023;2023:5650378. PMID: 36733613. PMCID: PMC9889146. <https://doi.org/10.1155/2023/5650378>

Сведения об авторах

Бокерия Екатерина Леонидовна, д. м. н., советник директора, неонатолог, детский кардиолог, ведущий научный сотрудник отделения патологии новорожденных и недоношенных детей № 2, Национальный медицинский исследовательский центр акушерства, гинекологии и перинатологии им. акад. В.И. Кулакова; профессор кафедры неонатологии клинического института детского здоровья им. Н.Ф. Филатова, Первый МГМУ им. И.М. Сеченова (Сеченовский Университет) (Москва, Россия). <https://orcid.org/0000-0002-8898-9612>

Яннаева Наталья Евгеньевна, к. м. н., врач ультразвуковой диагностики, старший научный сотрудник, Национальный медицинский исследовательский центр акушерства, гинекологии и перинатологии им. акад. В.И. Кулакова (Москва, Россия); доцент кафедры акушерства и гинекологии, Рязанский государственный медицинский университет им. акад. И.П. Павлова (Рязань, Россия). <https://orcid.org/0009-0002-1049-0296>

Сенча Александр Николаевич, д. м. н., заведующий отделом визуальной диагностики, профессор кафедры акушерства и гинекологии, Национальный медицинский исследовательский центр акушерства, гинекологии и перинатологии им. акад. В.И. Кулакова; профессор кафедры ультразвуковой диагностики, Российский национальный исследовательский медицинский университет им. Н.И. Пирогова (Москва, Россия). <https://orcid.org/0000-0002-1188-8872>

Метелкин Петр Валерьевич, директор центра стратегического анализа департамента проектного управления, ЗащитаИнфоТранс (Москва, Россия). <https://orcid.org/0009-0003-8135-3405>

Юрченко Оксана Валерьевна, врач ультразвуковой диагностики, Приволжская медицинская компания (Самара, Россия). <https://orcid.org/0009-0008-3284-5995>

Финансирование

Исследование выполнено за счет гранта «Обеспечение информационного взаимодействия медицинских информационных систем ФГБУ «НМИЦ АГП им. В.И. Кулакова» Минздрава России с подсистемами ЕГИСЗ размеченных датасетов по направлению ультразвуковой скрининг второго триместра».

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Author credentials

Ekaterina L Bokerija, Dr. Sci. (Med.), Adviser to the Director, Neonatologist, Pediatric Cardiologist, Leading Researcher, 2nd Department of Pathology of Newborns and Premature Babies, National Medical Research Center for Obstetrics, Gynecology and Perinatology named after Academician V.I. Kulakov; Professor at the Department of Neonatology, Clinical Institute of Children's Health named after N.F. Filatov, I.M. Sechenov First Moscow State Medical University (Moscow, Russian Federation). <https://orcid.org/0000-0002-8898-9612>

Natalia E. Yannaeva, Cand. Sci. (Med.), Ultrasonographer, Senior Researcher, National Medical Research Center for Obstetrics, Gynecology and Perinatology named after Academician V.I. Kulakov (Moscow, Russian Federation); Associate Professor at the Department of Obstetrics and Gynecology, Ryazan State Medical University named after Academician I.P. Pavlov (Ryazan, Russian Federation). <https://orcid.org/0009-0002-1049-0296>

Alexander N. Sencha, Dr. Sci. (Med.), Head of the Diagnostic Imaging Division, Professor at the Department of Obstetrics and Gynecology, National Medical Research Center for Obstetrics, Gynecology and Perinatology named after Academician V.I. Kulakov; Professor at the Diagnostic Ultrasound Department, Pirogov Russian National Research Medical University (Moscow, Russian Federation). <https://orcid.org/0000-0002-1188-8872>

Petr V. Metelkin, Director, Center for Strategic Analysis, Department of Project Management, ZashchitaInfoTrans (Moscow, Russian Federation). <https://orcid.org/0009-0003-8135-3405>

Oxana V. Yurchenko, Ultrasonographer, Volga Medical Company (Samara, Russian Federation). <https://orcid.org/0009-0008-3284-5995>

Funding:

The study was supported by the grant “Providing information exchange between medical information systems of the National Medical Research Center for Obstetrics, Gynecology and Perinatology named after Academician V.I. Kulakov of the Ministry of Health of the Russian Federation and subsystems of the Uniform State Health Information System's labeled datasets in terms of second-trimester ultrasound screening”.

Conflict of interest: none declared.