

3.2024

УЛЬТРАЗВУКОВАЯ И ФУНКЦИОНАЛЬНАЯ ДИАГНОСТИКА

Ultrasound & Functional Diagnostics

ISSN 1607-0771 (Print)
ISSN 2408-9494 (Online)

УЛЬТРАЗВУКОВАЯ И ФУНКЦИОНАЛЬНАЯ ДИАГНОСТИКА

Ultrasound & Functional Diagnostics

3.2024

Главный редактор

М.Н. Алехин

Зам. главного редактора

В.В. Митьков
М.Д. Митькова
В.А. Сандриков

Редакторы

Т.В. Балахонова
М.Н. Буланов
Н.Н. Ветшева
В.П. Куликов

М.И. Пыков
М.К. Рыбакова
Е.В. Федорова

Редакционный совет

Абухамад А., США
Бощенко А.А., Россия
Бурков С.Г., Россия
Ватолин К.В., Россия
Верзакова И.В., Россия
Воеводин С.М., Россия
Глазун Л.О., Россия
Гус А.И., Россия
Дворяковский И.В., Россия
Дворяковская Г.М., Россия
Демидов В.Н., Россия
Дитрих К., Германия
Заболотская Н.В., Россия
Зубарева Е.А., Россия
Игнашин Н.С., Россия

Кадрев А.В., Россия
Кинзерский А.Ю., Россия
Лелюк В.Г., Россия
Лелюк С.Э., Россия
Липман А.Д., Россия
Михайлов А.В., Россия
Надточий А.Г., Россия
Озерская И.А., Россия
Орлова Л.П., Россия
Паршин В.С., Россия
Полухина Е.В., Россия
Поморцев А.В., Россия
Ридэн Т.В., Россия
Салтыкова В.Г., Россия
Сафонов Д.В., Россия

Сенча А.Н., Россия
Синьковская Е.С., США
Синюкова Г.Т., Россия
Стыгар А.М., Россия
Трофимова Е.Ю., Россия
Тутчек Б., Швейцария
Тухбатуллин М.Г., Россия
Фазылов А.А., Узбекистан
Феоктистова Е.В., Россия
Хитрова А.Н., Россия
Чекалова М.А., Россия
Швырев С.Л., Россия
Шолохов В.Н., Россия
Ярыгина Т.А., Россия

Зав. редакцией
Научный редактор переводов

Капустина А.Ю.
Пеняева Э.И.

Журнал включен ВАК РФ в перечень ведущих рецензируемых научных журналов и изданий, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученых степеней доктора и кандидата наук

Официальный журнал Российской ассоциации специалистов ультразвуковой диагностики в медицине

ВИДАР-М

Выпускается 4 раза в год

Издается с 1995 года

109028 г. Москва, а/я 16, ООО "Видар-М"

Тел. +7 495 589-86-60

ПИ № ФС77-21266 от 22.06.2005 года

2000 экз.

ISSN 1607-0771 (Print)
ISSN 2408-9494 (Online)

Ultrasound & Functional Diagnostics

Ультразвуковая и функциональная диагностика

3.2024

Editor-in-Chief

M.N. Alekhin

Deputy Editor-in-Chief

V.V. Mitkov
M.D. Mitkova
V.A. Sandrikov

Editors

T.V. Balakhonova
M.N. Bulanov
N.N. Vetsheva
V.P. Kulikov

M.I. Pykov
M.K. Rybakova
E.V. Fedorova

Editorial Board

Abuhamad A., USA
Boshchenko A.A., Russia
Burkov S.G., Russia
Vatolin K.V., Russia
Verzakova I.V., Russia
Voevodin S.M., Russia
Glazun L.O., Russia
Gus A.I., Russia
Dvoryakovskij I.V., Russia
Dvoryakovskaya G.M., Russia
Demidov V.N., Russia
Dietrich Ch., Germany
Zabolotskaya N.V., Russia
Zubareva E.A., Russia
Ignashin N.S., Russia

Kadrev A.V., Russia
Kinzerskij A.Yu., Russia
Lelyuk V.G., Russia
Lelyuk S.Eh., Russia
Lipman A.D., Russia
Mikhajlov A.V., Russia
Nadtochij A.G., Russia
Ozerskaya I.A., Russia
Orlova L.P., Russia
Parshin V.S., Russia
Polukhina E.V., Russia
Pomortsev A.V., Russia
Riden T.V., Russia
Saltykova V.G., Russia
Safonov D.V., Russia

Sencha A.N., Russia
Sinkovskaya E.S., USA
Sinyukova G.T., Russia
Stygar A.M., Russia
Trofimova E.Yu., Russia
Tutschek B., Switzerland
Tukhbatullin M.G., Russia
Fazylov A.A., Uzbekistan
Feoktistova E.V., Russia
Khitrova A.N., Russia
Chekalova M.A., Russia
Shvyrev S.L., Russia
Sholokhov V.N., Russia
Yarygina T.A., Russia

Chief of office
Scientific editor of translation

Kapustina A.Yu.
Penyaeva E.I.

Official Journal of Russian Association of Specialists in Ultrasound Diagnostics in Medicine

VIDAR-M

Issues per year: 4

www.usfd.vidar.ru

E-mail: amn_usfd@mail.ru

Published since 1995

Tel: +7 495 589-86-60

содержание

Ультразвуковая диагностика заболеваний сердца и сосудов

Трехфазные диастолические трансмитральные и внутрижелудочковые потоки и их связь с диастолической дисфункцией левого желудочка по данным эхокардиографии Алехин М.Н., Гришин А.М., Скрипникова А.В., Капустина А.Ю.	9
Сопоставление полуавтоматического способа анализа деформации миокарда левых камер сердца с ручной трассировкой миокарда при спекл-трекинг-эхокардиографии Матвеева М.Г., Заренкова Т.А., Скрипникова А.В., Гришин А.М., Алехин М.Н.	21
Прогностически значимые показатели векторэлектрокардиографии у пациентов с острой декомпенсацией сердечной недостаточности со сниженной фракцией выброса левого желудочка Ваштанян А.К., Ускач Т.М., Аманатова В.А., Муксинова М.Д., Сахнова Т.А., Блинова Е.В., Кожемякина Е.Ш., Терещенко С.Н., Скворцов А.А.	34

Ультразвуковая диагностика в акушерстве и гинекологии

Практические рекомендации ISUOG (обновленные): ультразвуковое исследование центральной нервной системы плода. Часть 1: проведение скринингового исследования и показания к таргетной нейросонографии Malinge G., Paladini D., Haratz K.K., Monteagudo A., Pili G., Timor-Tritsch I.E.	46
Ультразвуковая оценка сердечной деятельности эмбриона как прогностический критерий неблагоприятного исхода беременности Тимакина Д.Н., Буланов М.Н., Ефремов В.А.	61
Сравнение методов 2D и 3D с использованием режима HDlive ультразвуковой визуализации в диагностике полипов эндометрия при бесплодии Озерская И.А., Минашкина Е.В., Ожогина Е.В., Казарян Г.Г.	75

Подписаться на наш журнал вы можете в любом отделении связи
(каталог Роспечати, раздел “Здравоохранение. Медицина”),
а также в ООО “Видар-М”

Художники О.А. Рыченкова, А.И. Морозова
Выпускающий редактор Ю.А. Кушель
Редактирование Т.И. Луковская
Верстка Ю.А. Кушель

Читайте о нашем журнале в сети Интернет www.usfd.vidar.ru
Адрес для связи с редакцией amn_usfd@mail.ru

contents

Cardiovascular Ultrasound

- Triphasic diastolic transmitral and intraventricular blood flows and their relationship with LV diastolic dysfunction according to echocardiography**
Alekhin M.N., Grishin A.M., Skripnikova A.V., Kapustina A.Yu. 9
- Comparison of a semi-automatic strain analysis of left heart with manual myocardial tracing in speckle-tracking echocardiography**
Matveeva M.G., Zarenkova T.A., Skripnikova A.V., Grishin A.M., Alekhin M.N. 21
- Prognostically significant parameters of vector electrocardiography in patients with acute decompensation of heart failure with reduced left ventricular ejection fraction**
Vashtanian A.K., Uskach T.M., Amanatova V.A., Muxinova M.D., Sakhnova T.A., Blinova E.V., Kozhemyakina E.S., Tereshchenko S.N., Skvortsov A.A. 34

Obstetrics and Gynecology Ultrasound

- ISUOG Practice Guidelines (updated): sonographic examination of the fetal central nervous system. Part 1: performance of screening examination and indications for targeted neurosonography (translation into Russian)**
Malinger G., Paladini D., Haratz K.K., Monteagudo A., Pilu G., Timor-Tritsch I.E. 46
- Ultrasound assessment of embryo cardiac function as a predictive criterion of adverse pregnancy outcome**
Timakina D.N., Bulanov M.N., Efremov V.A. 61
- A comparison of 2D and 3D with the use of HDlive mode imaging in the diagnosis of endometrial polyps in infertility**
Ozerskaya I.A., Minashkina E.V., Ozhogina E.V., Kazaryan G.G. 75

ISSN 1607-0771(Print); ISSN 2408-9494 (Online)

<https://doi.org/10.24835/1607-0771-092>

Трехфазные диастолические трансмитральные и внутрижелудочковые потоки и их связь с диастолической дисфункцией левого желудочка по данным эхокардиографии

М.Н. Алехин^{1,2}, А.М. Гришин¹, А.В. Скрипникова¹, А.Ю. Капустина^{1,2*}

¹ ФГБУ “Центральная клиническая больница с поликлиникой” Управления делами Президента Российской Федерации; 121359 Москва, ул. Маршала Тимошенко, д. 15, Российская Федерация

² ФГБУ ДПО “Центральная государственная медицинская академия” Управления делами Президента Российской Федерации; 121359 Москва, ул. Маршала Тимошенко, д. 19, стр. 1А, Российская Федерация

У некоторых пациентов можно наблюдать ускорение кровотока в фазу диастазиса с формированием так называемой L-волны, при наличии которой трансмитральный кровоток трансформируется в трехфазный.

Цель исследования: установить частоту регистрации L-волны и оценить ее связь при доплеровском исследовании трансмитрального кровотока на уровне створок митрального клапана, а также в полости левого желудочка с современными критериями для оценки диастолической функции левого желудочка.

Материал и методы. В исследование было включено 105 пациентов (возраст $62,21 \pm 11,97$ (29–91) года, мужчин 61 (58,1%)) с синусовым ритмом, из которых 30 (28,6%) обследованных были условно здоровыми, 64 (61%) пациента страдали ишемической болезнью сердца, еще 11 (10,5%) – артериальной гипертензией. Проводилось доплеровское исследование трансмит-

Алехин Михаил Николаевич – доктор мед. наук, профессор, заведующий отделением функциональной диагностики ФГБУ “Центральная клиническая больница с поликлиникой” Управления делами Президента Российской Федерации; профессор кафедры терапии, кардиологии и функциональной диагностики с курсом нефрологии ФГБУ ДПО “Центральная государственная медицинская академия” Управления делами Президента Российской Федерации, Москва. <https://orcid.org/0000-0002-9725-7528>

Гришин Алексей Михайлович – канд. мед. наук, врач функциональной диагностики ФГБУ “Центральная клиническая больница с поликлиникой” Управления делами Президента Российской Федерации, Москва. <https://orcid.org/0009-0001-7102-5614>

Скрипникова Анна Вячеславовна – врач функциональной диагностики ФГБУ “Центральная клиническая больница с поликлиникой” Управления делами Президента Российской Федерации, Москва. <https://orcid.org/0009-0007-3541-0834>

Капустина Анастасия Юрьевна – врач функциональной диагностики ФГБУ “Центральная клиническая больница с поликлиникой” Управления делами Президента Российской Федерации; ассистент кафедры терапии, кардиологии и функциональной диагностики с курсом нефрологии ФГБУ ДПО “Центральная государственная медицинская академия” Управления делами Президента Российской Федерации, Москва. <https://orcid.org/0000-0002-7072-9783>

Контактная информация*: Капустина Анастасия Юрьевна – e-mail: nast.capustina@yandex.ru

рального потока в апикальной четырехкамерной позиции в импульсно-волновом режиме с расположением контрольного объема на уровне концов створок митрального клапана, а также на уровне базальных и средних отделов левого желудочка. При наличии в фазу диастазиса отчетливой положительной волны на спектрограмме со скоростью, превышающей 20 см/с, считали ее дополнительной волной L и такой кровоток в диастолу считали трехфазным.

Результаты. Трехфазный трансмитральный кровоток был зарегистрирован у 9 (8,5%) пациентов, еще у 30 (28,5%) обследованных был выявлен трехфазный внутрижелудочковый кровоток. Пациенты с трехфазным трансмитральным кровотоком были старше, у них был больше индекс объема левого предсердия и чаще выявлялась диастолическая дисфункция левого желудочка по сравнению с пациентами с трехфазным внутрижелудочковым кровотоком (66,7% по сравнению с 23,3%, $p = 0,042$).

Заключение. Трехфазный трансмитральный кровоток регистрируется существенно реже по сравнению с трехфазным внутрижелудочковым кровотоком (8,5% по сравнению с 28,5%, $p < 0,001$). Трехфазный трансмитральный кровоток чаще наблюдается у пациентов с диастолической дисфункцией левого желудочка.

Ключевые слова: L-волна; внутрижелудочковый вихрь; диастолическая функция; левый желудочек; доплерэхокардиография

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии возможных конфликтов интересов.

Финансирование. Исследование проведено без спонсорской поддержки.

Цитирование: Алехин М.Н., Гришин А.М., Скрипникова А.В., Капустина А.Ю. Трехфазные диастолические трансмитральные и внутрижелудочковые потоки и их связь с диастолической дисфункцией левого желудочка по данным эхокардиографии. *Ультразвуковая и функциональная диагностика*. 2024; 3: 9–20. <https://doi.org/10.24835/1607-0771-092>

ВВЕДЕНИЕ

Доплеровская оценка кровотока наполнения левого желудочка (ЛЖ) в диастолу через митральный клапан давно и успешно используется как для оценки состояния митрального клапана, так и для оценки диастолической функции ЛЖ. У пациентов с синусовым ритмом после потока раннего наполнения ЛЖ вплоть до потока наполнения, обусловленного сокращением предсердия, регистрируется фаза диастазиса, которая характеризуется минимальным градиентом и скоростью кровотока между левыми предсердием и желудочком. Таким образом формируется двухфазный трансмитральный кровоток. Однако у некоторых пациентов можно наблюдать ускорение кровотока в фазу диастазиса с формированием отчетливой волны, которая получила название L-волна. У пациентов с L-волной в фазу диастазиса двухфазный трансмитральный кровоток трансформируется в трехфазный. Несмотря на то что этот феномен был впервые описан довольно давно, он по-прежнему привлекает к себе внимание ряда исследователей [1, 2]. Точный патофизиологический механизм возникновения этой волны до сих пор не установлен. Эта волна

была описана как у здоровых лиц, так и у пациентов с различными патологическими состояниями, а также было показано, что эта волна может быть маркером выраженной диастолической дисфункции и ассоциирована с неблагоприятными сердечно-сосудистыми событиями [3, 4]. Наряду с этим есть публикации, в которых указывается на возможность регистрации L-волны у каждого здорового человека при расположении зоны интереса в импульсно-волновом доплеровском режиме на некотором расстоянии от створок митрального клапана по направлению к срединным отделам ЛЖ [5]. В таком случае L-волна вызвана повторным входом (re-entry) вихреобразного потока, обусловленного волной раннего наполнения ЛЖ, в определенным образом установленную зону интереса (на некотором расстоянии от створок митрального клапана по направлению к срединным отделам ЛЖ). Таким образом, регистрация L-волны при доплеровском исследовании трансмитрального кровотока может иметь как клиническое значение, так и может быть свойственна нормальной внутрисердечной гемодинамике при ее регистрации в полости ЛЖ.

Цель исследования: установить частоту регистрации L-волны и оценить ее связь при доплеровском исследовании трансмитрального кровотока на уровне створок митрального клапана, а также в полости ЛЖ с современными критериями для оценки диастолической функции ЛЖ.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

В исследование было включено 105 пациентов (возраст $62,21 \pm 11,97$ (29–91) года, мужчин 61 (58,1%)) с синусовым ритмом, не имевших критериев исключения, подписавших информированное согласие на проведение исследования, которым выполнялось трансторакальное эхокардиографическое исследование. Критерии исключения из исследования: наличие у пациента гипертрофической кардиомиопатии, врожденных и приобретенных пороков сердца, наличие умеренной и выраженной регургитации на любом клапане сердца, нарушения ритма и проводимости и наличие кардиохирургических операций в анамнезе, неоптимальная визуализация сердца, невозможность расчета глобальной продольной систолической деформации ЛЖ. Мы также не включали в наше исследование спортсменов.

Среди обследованных 30 (28,6%) пациентов не имели жалоб и указаний в анамнезе на наличие каких-либо сердечно-сосудистых заболеваний, а также не имели изменений на электрокардиограмме (ЭКГ) и при эхокардиографическом исследовании. Ишемической болезнью сердца страдали 64 (61%) пациента, из них у 10 (9,5%) имелось указание на ранее перенесенный инфаркт миокарда, что подтверждалось изменениями на ЭКГ и/или наличием зон нарушений локальной сократимости ЛЖ при эхокардиографическом исследовании. Артериальная гипертензия (АГ) регистрировалась у 11 (10,5%) пациентов. Сопутствующим сахарным диабетом 2 типа страдали 18 (17,1%) пациентов.

Всем пациентам выполнялась трансторакальная эхокардиография (ЭхоКГ) покоя в положении на левом боку с применением ультразвукового сканера Vivid E9 (GE Medical Systems, Horten, Norway) мультичастотным (1,5–4,6 МГц) матричным датчиком M5S в режиме второй гармоники (частота излучения 1,7 МГц, частота при-

нимаемого сигнала 3,4 МГц). Все ультразвуковые изображения были сохранены на жесткий диск для последующего анализа. Все эхокардиографические измерения усреднялись для 3 последовательных сердечных циклов.

Линейные размеры оценивались по изображениям, полученным в парастернальной позиции по длинной оси ЛЖ в В- и М-режимах. Определялись следующие показатели: конечно-диастолический (КДР) и конечно-систолический (КСР) размеры ЛЖ, толщина межжелудочковой перегородки (ТМЖП) и толщина задней стенки ЛЖ (ТЗСЛЖ).

Объемные показатели получены в двухмерном режиме путем обведения границ эндокарда в апикальных четырех- и двухкамерных позициях в систолу (КСО) и в диастолу (КДО) (биплановый метод дисков) [6]. Фракция выброса ЛЖ (%) рассчитывалась методом дисков в В-режиме.

Масса миокарда (ММ) ЛЖ рассчитывалась в М-режиме по формуле:

$$\text{ММЛЖ} = 0,8 \times \{1,04 \times [(\text{КДР} + \text{МЖП} + \text{ЗСЛЖ})^3 - \text{КДР}^3] + 0,6 \text{ г}\}.$$

Индекс массы миокарда (ИММ) ЛЖ определяли как отношение массы миокарда к площади поверхности тела. Критериями гипертрофии ЛЖ считали ИММ ЛЖ $> 115 \text{ г/м}^2$ для мужчин и $> 95 \text{ г/м}^2$ для женщин [6].

Максимальный переднезадний размер левого предсердия (ЛП) измеряли из парастернального доступа в конце систолы желудочков. Объем ЛП измеряли как среднее значение объемов, рассчитанных методом дисков в верхушечной позиции на 4 и 2 камеры. Индекс объема ЛП рассчитывали как отношение объема ЛП к площади поверхности тела пациента.

Критерием нарушения локальной сократимости ЛЖ явилось снижение нормальной сократимости в одном и более сегменте при визуальной оценке сократимости в соответствии с 16-сегментарной схемой деления ЛЖ [6].

Оценка диастолической функции ЛЖ являлась частью эхокардиографического протокола. У всех пациентов выполнялась оценка наличия или отсутствия диастолической дисфункции ЛЖ в соответствии с ре-

комендациями Американского общества эхокардиографии и Европейского общества эхокардиографии по оценке диастолической функции ЛЖ методом ЭхоКГ от 2016 г. [7].

Статистическую обработку результатов проводили с помощью пакета статистических программ Statistica 12.0 for Windows и IBM SPSS Statistics Version 26.0 для iOS. Для статистической оценки полученных данных использовались методы параметрической и непараметрической статистики. Распределение признаков оценивалось с помощью критерия Колмогорова–Смирнова (в группах с более 50 исследуемыми) и критерия Шапиро–Уилка (в группах с менее 50 исследуемыми). В зависимости от распределения количественные данные представлены в виде $M \pm SD$ и минимального и максимального значений или медианы (Me), интерквартильного размаха [25–75-й квартиль] и минимального и максимального значений. При определении значимости различия между средними величинами при нормальном распределении применялся критерий Стьюдента или метод однофакторного дисперсионного анализа (ANOVA). При отсутствии нормального распределения признака проводилось сравнение при помощи теста Манна–Уитни или критерия Краскела–Уоллиса. Для оценки различия качественных параметров применялись многопольные таблицы сопряженности с использованием критерия χ^2 Пирсона и точного критерия Фишера. Для объединения всей совокупности пациентов в различные группы по исследованным параметрам применялся двухэтапный кластерный анализ. Уровень значимости p составлял $<0,05$.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Среди всех 105 обследованных трехфазный трансмитральный кровоток был выявлен у 9 (8,5%), еще у 30 (28,5%) установлен трехфазный кровоток в полости ЛЖ (рис. 1, 2). В зависимости от наличия и места регистрации трехфазного кровотока все обследованные были разделены на 3 группы. В 1-ю группу вошло 9 пациентов, у которых трехфазный трансмитральный кровоток регистрировался на уровне концов створок митрального клапана в диастолу,

то есть в том месте, которое является рекомендованным для оценки скоростей трансмитрального кровотока в соответствии с действующими рекомендательными документами [6, 7]. Во 2-ю группу было включено 30 пациентов, у которых регистрировался трехфазный кровоток в полости ЛЖ на уровне базального и/или среднего отдела ЛЖ, то есть в тех местах, которые обычно не используются для регистрации кровотока в импульсно-волновом доплеровском режиме, так как они не фигурируют в действующих рекомендательных документах. В 3-ю группу было включено 66 пациентов, у которых трехфазный кровоток в диастолу не регистрировался ни на уровне концов створок митрального клапана, ни в полости ЛЖ.

Основные клинические и эхокардиографические данные обследованных в выделенных трех группах представлены в табл. 1.

Как видно из табл. 1, у обследованных 1-й группы с трехфазным трансмитральным кровотоком был достоверно больше индекс объема ЛП ($p < 0,001$ и $p = 0,004$ соответственно) и были выше значения скорости раннего наполнения ЛЖ ($p = 0,001$ и $p < 0,001$ соответственно) по сравнению с пациентами других групп. В 1-й группе при сравнении со 2-й группой пациенты были старше ($p = 0,009$), имели большие значения соотношения E/e' ($p = 0,019$), у них чаще встречалась диастолическая дисфункция ($p = 0,042$). При сравнении с 3-й группой у них была реже частота сердечных сокращений (ЧСС) ($p = 0,034$) и выше значения отношения E/A ($p = 0,001$). Обследованные 2-й группы, в которой был зарегистрирован трехфазный диастолический кровоток в полости ЛЖ, были моложе ($p = 0,009$ и $p = 0,001$ соответственно) и у них реже встречалась диастолическая дисфункция ($p = 0,042$ и $p = 0,042$ соответственно) по сравнению с пациентами других групп. При сравнении с пациентами 3-й группы они чаще страдали АГ ($p = 0,017$), у них были выше значения скорости позднего наполнения ЛЖ ($p = 0,011$), скорости пика e' на медиальном отделе фиброзного кольца митрального клапана ($p = 0,044$) и выше значения отношения E/A ($p = 0,003$).

Рис. 1. Импульсно-волновой доплеровский режим в апикальной четырехкамерной позиции с расположением контрольного объема на уровне створок митрального клапана (показано стрелкой). Трехфазная спектрограмма трансмитрального кровотока с наличием L-волны с максимальной скоростью 0,43 м/с.

Fig. 1. Pulsed-wave Doppler in the apical four-chamber view with the location of the sample volume at the level of the mitral valve leaflets (arrow). Triphasic spectrogram of trans-mitral blood flow with the presence of an L-wave with a maximum velocity of 0.43 m/s.

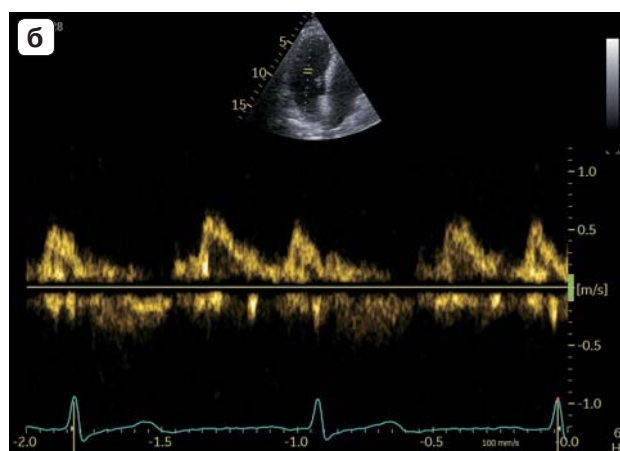
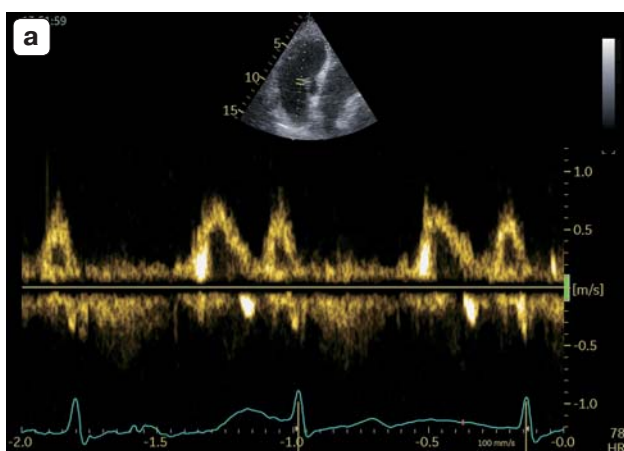
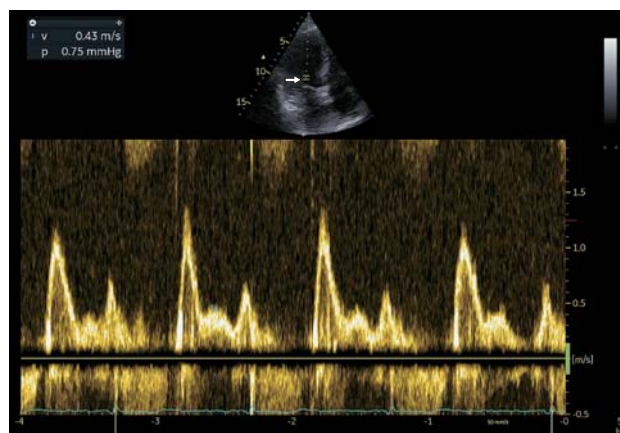


Рис. 2. Импульсно-волновой доплеровский режим в апикальной четырехкамерной позиции с расположением контрольного объема на уровне: **а** – створок митрального клапана; **б** – базального отдела левого желудочка; **в** – среднего отдела левого желудочка. На спектрограмме в среднем отделе левого желудочка регистрируется внутрижелудочковый трехфазный кровоток с максимальной скоростью L-волны 33 см/с.

Fig. 2. Pulsed-wave Doppler in the apical four-chamber view with the location of the sample volume at the level of: **a** – mitral valve leaflets; **б** – basal part of the left ventricle; **в** – middle part of the left ventricle. The spectrogram in the middle part of the left ventricle shows an intraventricular triphasic blood flow with a maximum L-wave velocity of 33 cm/s.

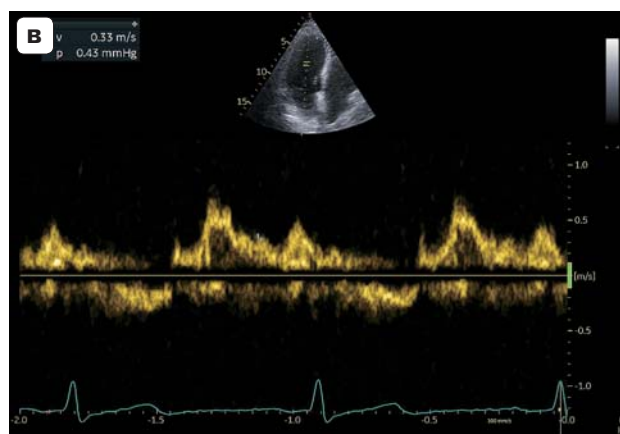


Таблица 1. Клинические и эхокардиографические показатели обследованных, включенных в исследование ($M \pm SD$), (n, %), Me [25-й и 75-й квартили], (min; max)**Table 1.** Clinical and echocardiographic parameters of the examined patients included in the study ($M \pm SD$), (n, %), Me [25 and 75 quartiles], (Min; Max)

Показатели	1-я группа, n = 9	2-я группа, n = 30	3-я группа, n = 66	p
Возраст, годы	67,9 $\pm$ 11,6 (47; 82)	55,1 $\pm$ 9,9 (29; 70)	64,7 $\pm$ 11,6 (38; 91)	<0,001* p ₁₋₂ = 0,009 p ₂₋₃ = 0,001
Пол:				
мужской, n (%)	5 (55,6)	22 (73,3)	34 (51,5)	0,145
женский, n (%)	4 (44,4)	8 (26,7)	32 (48,5)	
ИМТ, кг/м ²	27,9 $\pm$ 2,4 (23,4; 31,6)	27,8 [26,3; 31,5] (20,1; 43,5)	27,9 $\pm$ 4,4 (19,7; 39,0)	0,696
Обследованные без ССЗ, n (%)	1 (11,1)	11 (36,7)	17 (25,8)	0,586
Артериальная гипертензия, n (%)	0 (0)	5 (16,7)	2 (3,0)	0,035* p ₂₋₃ = 0,017
Сахарный диабет 2 типа, n (%)	2 (22,2)	4 (13,3)	12 (18,2)	0,781
Инфаркт миокарда, n (%)	1 (11,1)	4 (13,3)	5 (7,6)	0,497
ЧСС, уд/мин	60 $\pm$ 6,9 (50; 71)	64,1 $\pm$ 7,6 (50; 88)	68 [60; 75] (52; 88)	0,029* p ₁₋₃ = 0,034
КДР ЛЖ, мм	50,0 [47,0; 51,0] (45,0; 63,0)	50,5 [46,0; 53,0] (40,0; 56,0)	47,8 $\pm$ 4,3 (41,0; 62,0)	0,071
Индекс объема ЛП, мл/м ²	39,0 $\pm$ 11,2 (21,8; 54,4)	28,9 $\pm$ 6,0* (18,7; 38,8)	31,5 $\pm$ 5,7 (21,3; 54,1)	0,032* p ₁₋₂ < 0,001 p ₁₋₃ = 0,004
Индекс ММЛЖ, г/м ²	102,9 $\pm$ 21,7 (63,1; 141,8)	96,4 $\pm$ 22,0 (48,8; 137,9)	98,5 $\pm$ 24,6 (54,1; 196,2)	0,766
ГЛЖ, n (%)	4 (44,4)	7 (23,3)	23 (34,8)	0,509
Кальциноз фиброзного кольца митрального клапана, n (%)	0 (0)	3 (10)	7 (11)	0,93
ФВ ЛЖ, %	57,0 [55; 57] (37; 60)	59,0 [55; 60] (37; 63)	59,0 [56; 60] (29; 72)	0,214
ГПСД ЛЖ, %	19,3 $\pm$ 3,8 (11,2; 23,1)	19,6 $\pm$ 3,2 (12,6; 25,3)	20,4 [18,4; 22,4] (8,0; 26,9)	0,648
E, см/с	86,6 $\pm$ 22,7 (66,0; 135,0)	66,5 $\pm$ 13,3 (39,0; 97,0)	63,5 $\pm$ 13,2 (40,0; 95,0)	<0,001* p ₁₋₂ = 0,001 p ₁₋₃ < 0,001
A, см/с	66,1 $\pm$ 15,6 (44,0; 91,0)	65,6 $\pm$ 13,8 (41,0; 95,0)	75,2 $\pm$ 14,6 (41,0; 110,0)	0,008* p ₂₋₃ = 0,011
e' _{мед.} , см/с	7,44 $\pm$ 1,1 (5,0; 9,0)	8,1 $\pm$ 2,0 (4,0; 14,0)	7,0 [6,0; 8,0] (4,0; 14,0)	0,047 p ₂₋₃ = 0,044
e' _{лат.} , см/с	9,89 $\pm$ 1,5 (8,0; 12,0)	9,97 $\pm$ 2,3 (6,0; 14,0)	8,79 $\pm$ 2,6 (4,0; 14,0)	0,076
E/e', ед.	9,98 $\pm$ 2,5 (6,9; 15,0)	7,58 $\pm$ 1,9 (3,8; 12,5)	7,7 [6,8; 9,3] (5,2; 13,0)	0,024* p ₁₋₂ = 0,019

Таблица 1 (окончание).

Table 1 (end).

Показатели	1-я группа, n = 9	2-я группа, n = 30	3-я группа, n = 66	p
E/A, ед.	1,37 ± 0,5 (0,78; 2,07)	1,04 ± 0,2 (0,54; 1,46)	0,82 [0,68; 0,94] (0,42; 1,83)	<0,001* p ₁₋₃ = 0,001 p ₂₋₃ = 0,003
ДД ЛЖ, n (%)	6 (66,7)	7 (23,3)	31 (47,0)	0,028* p ₁₋₂ = 0,042 p ₂₋₃ = 0,042

Примечание. * – различие параметра статистически значимо ($p < 0,05$). ИМТ – индекс массы тела; ССЗ – сердечно-сосудистые заболевания; ЧСС – частота сердечных сокращений; КДР – конечный диастолический размер; ЛП – левое предсердие; ММЛЖ – масса миокарда левого желудочка; ГЛЖ – гипертрофия левого желудочка; ФВ – фракция выброса; ГПСД – глобальная продольная систолическая деформация; ДД ЛЖ – диастолическая дисфункция левого желудочка.

В результате двухэтапного кластерного анализа в структуре исследуемой совокупности были выделены 4 кластера: доля кластера 1 в общей структуре составляла 31,4% (33 пациента), кластера 2 – 25,7% (27 пациентов), кластера 3 – 21,9% (23 пациента) и кластера 4 – 21,0% (22 пациента). На рис. 3 изображена схема принципа разделения на подгруппы проведенного кластерного анализа.

Силуэтная мера связности и разделения составила 0,3, что соответствует среднему качеству кластеров.

Результаты сравнения полученных кластеров по изучаемым признакам представлены в табл. 2.

При сравнении полученных кластеров (см. табл. 2) по изучаемым признакам были установлены статистически значимые различия частоты таких параметров, как наличие диастолической дисфункции, наличие L-волны, соотношение пиков E/A, ин-

декса объема ЛП, скорости пика A, наличие АГ ($p < 0,001$ для каждого параметра), скорости пика E ($p = 0,001$) и возраста ($p = 0,002$).

По результатам оценки признаков в зависимости от принадлежности к кластерам было отмечено, что пациенты из кластера 4 (наличие диастолической дисфункции и L-волны у большинства обследованных в группе) статистически значимо чаще страдали АГ, имели наиболее высокие значения индекса объема ЛП, значения скорости пика E и соотношения E/A, в том числе при сравнении с кластером 2, в котором находились пациенты с диастолической дисфункцией, но без L-волны.

В табл. 3 представлены пространственное распределение частоты регистрации трехфазного кровотока в диастолу в 1-й и 2-й группах, а также максимальная скорость L-волны в различных точках регистрации.

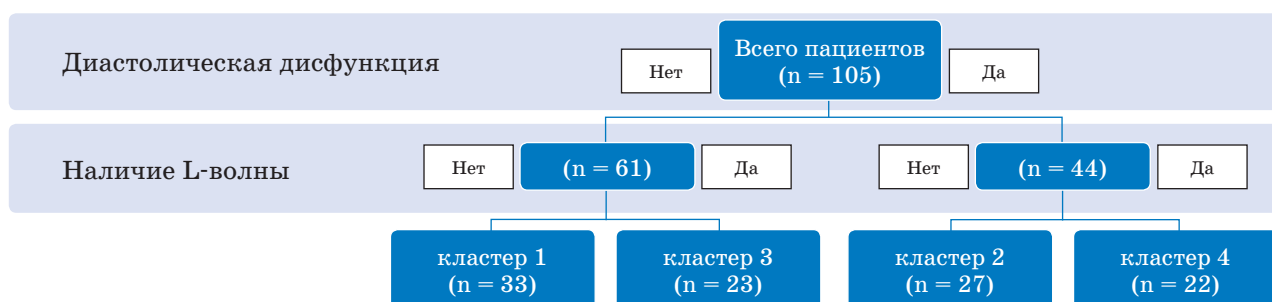


Рис. 3. Схема разделения пациентов на кластеры.

Fig. 3. Scheme of dividing patients into clusters.

Таблица 2. Сравнение кластеров пациентов по изучаемым признакам (n, %), $M \pm SD$, Me [25-й и 75-й квартили], (min; max)**Table 2.** Comparison of patient clusters by the evaluated parameters (n, %), $M \pm SD$, Me [25 and 75 quartiles], (Min; Max)

Показатели (в порядке убывания важности)	Исследуемые кластеры				p
	1 (n = 33)	2 (n = 27)	3 (n = 23)	4 (n = 22)	
Диастолическая дисфункция, абс. (%)	0 (0,0)	27 (100)	0 (0,0)	17 (77,3)	<0,001*
Наличие L-волны, абс. (%)	0 (0,0)	0 (0,0)	23 (100)	16 (72,7)	<0,001*
E/A, ед.	$0,87 \pm 0,22$ (0,54; 1,52)	$0,74 \pm 0,14$ (0,42; 1,02)	$1,09 \pm 0,26$ (0,69; 1,86)	$1,28 \pm 0,42$ (0,54; 2,08)	<0,001* $p_{1-2} = 0,049$ $p_{1-3} = 0,003$ $p_{1-4} < 0,001$ $p_{2-3} < 0,001$ $p_{2-4} < 0,001$
Индекс объема ЛП, мл/м ²	29,5 [26,5–32,9] (21,3; 38,8)	34,2 [29,9–36,5] (23,6; 54,1)	25,3 [22,7–30,1] (18,7; 31,7)	38,4 [31,6–42,5] (22,1; 54,4)	<0,001* $p_{1-2} = 0,019$ $p_{1-3} = 0,029$ $p_{1-4} < 0,001$ $p_{2-3} < 0,001$ $p_{3-4} < 0,001$
Скорость пика A, см/с	$72,6 \pm 11,9$ (50; 101)	$83,2 \pm 12,1$ (56; 110)	$63,8 \pm 14,3$ (41; 95)	$64,0 \pm 14,4$ (41; 91)	<0,001* $p_{1-2} = 0,008$ $p_{1-3} = 0,025$ $p_{2-3} < 0,001$ $p_{2-4} < 0,001$
Скорость пика E, см/с	$61,8 \pm 11,7$ (42; 82)	$60,7 \pm 11,9$ (40; 91)	$67,7 \pm 12,8$ (39; 97)	$77,9 \pm 19,8$ (45; 135)	0,001* $p_{1-4} = 0,001$ $p_{2-4} < 0,001$
Артериальная гипертензия, абс. (%)	0 (0,0)	1 (3,7)	0 (0,0)	6 (27,3)	<0,001* $p_{2-4} = 0,019$
Возраст, годы	$66,0 \pm 9,0$ (50; 82)	$65,5 \pm 12,1$ (40; 91)	$54,6 \pm 10,4$ (29; 79)	$60,5 \pm 13,7$ (38; 82)	0,002* $p_{1-3} < 0,001$ $p_{2-3} = 0,002$
E/e', ед.	7,3 [6,6–8,8] (5,2; 12,2)	8,0 [7,1–10,0] (5,4; 13,0)	7,6 [6,1–8,7] (3,8; 12,5)	8,1 [7,0–10,1] (5,8; 15,0)	0,150
ЧСС, уд/мин	67 [59–74] (52; 86)	67 [63–80] (58; 88)	64 [60–69] (54; 75)	65,5 [56–71] (50; 88)	0,158

* – различия статистически значимы ($p < 0,05$).

Таблица 3. Распределение частоты регистрации трехфазного кровотока в диастолу в 1-й и 2-й группах, а также значения максимальной скорости L-волны (n, %), Me [25-й и 75-й квартили], (min; max)**Table 3.** Distribution of the frequency of triphasic blood flow presence in diastole in groups 1 and 2, and the values of the maximum L-wave velocity (n, %), Me [25 and 75 quartiles], (Min; Max)

Место регистрации трехфазного кровотока	1-я группа, n = 9		2-я группа, n = 30	
	n (%)	скорость L-волны, см/с	n (%)	скорость L-волны, см/с
На уровне концов створок митрального клапана	9 (100%)	35 [28; 39] (26; 55)	–	–
На уровне базального отдела ЛЖ	7 (78%)	40 [37; 45] (34; 46)	11 (37%)	36 [32; 38] (26; 48)
На уровне медиального отдела ЛЖ	5 (55%)	39 [33; 42] (29; 43)	27 (90%)	40 [28; 39] (26; 55)

Как представлено в табл. 3, у пациентов с трехфазным трансмитральным кровотоком (1-я группа) L-волна регистрировалась не только на уровне концов створок митрального клапана, но и в большинстве случаев на уровне базального (78%) и на уровне среднего (55%) отделов ЛЖ с убывающей частотой. У обследованных 2-й группы трехфазный кровоток существенно чаще был зарегистрирован в среднем отделе (90%) по сравнению с базальным отделом ЛЖ (37%). При этом медианы скоростей L-волны на уровне базального и среднего отделов ЛЖ были практически одинаковыми в обеих группах.

ОБСУЖДЕНИЕ

По нашим данным, частота выявления трехфазного трансмитрального кровотока составила 8,5%. Это существенно превышает те данные, которые были представлены ранее среди обследованных с синусовым ритмом. Так, J.W. На и соавт. сообщили о частоте трехфазного трансмитрального кровотока в 0,9% среди 9004 обследованных с синусовым ритмом [8], а по данным S.A.Kim и соавт. частота трехфазного трансмитрального кровотока составила 1% в популяции из 20 845 обследованных с синусовым ритмом [9]. В то же время в целом ряде работ у пациентов с гипертрофией ЛЖ, с гипертрофической кардиомиопати-

ей, с выраженным аортальным стенозом, с сердечной недостаточностью трехфазный трансмитральный кровоток регистрировался значительно чаще.

По данным I. Merdler и соавт., трехфазный трансмитральный кровоток регистрировался в 12% случаев из 502 больных с выраженным аортальным стенозом, которым была выполнена транскатетерная имплантация аортального клапана [10]. C.S. Lam и соавт. сообщили о частоте трехфазного трансмитрального кровотока в 20% среди 177 пациентов с синусовым ритмом, гипертрофией ЛЖ и сохранной фракцией выброса ЛЖ [11]. K. Masai и соавт. сообщили о выявлении трехфазного трансмитрального кровотока в 31,7% случаев среди 151 пациента с сердечной недостаточностью [12]. C. Saito и соавт. сообщили о еще большей частоте выявления трехфазного трансмитрального кровотока (32,4%) у 445 пациентов с впервые установленным клиническим диагнозом гипертрофической кардиомиопатии [13]. Таким образом, анализ данных литературы о частоте выявления трехфазного трансмитрального кровотока указывает на значительную зависимость этой частоты от клинической характеристики обследуемых лиц. В общих популяциях обследованных лиц частота трехфазного трансмитрального кровотока не превышает 1%, а в популяциях с аортальным стенозом, гипертрофической кардиомиопатией

и с сердечной недостаточностью наблюдается почти у каждого третьего пациента.

По данным нашего исследования, трехфазный кровоток в полости ЛЖ выявлялся существенно чаще по сравнению с трансмитральным трехфазным кровотоком (28,5% по сравнению с 8,5%, $p < 0,001$). При этом у большинства лиц с трехфазным трансмитральным кровотоком трехфазный характер кровотока сохранялся и на уровне базального отдела ЛЖ (у 7 из 9) и несколько реже и на уровне среднего отдела ЛЖ (у 5 из 9). У пациентов же с внутрижелудочковым трехфазным кровотоком существенно чаще такой кровоток регистрировался в среднем отделе желудочка по сравнению с его базальным отделом (90% по сравнению с 37%, $p < 0,001$). Это позволяет нам предположить различный генез трехфазных трансмитрального и внутрижелудочкового кровотоков.

Как уже отмечалось ранее, точный патофизиологический механизм возникновения L-волны с формированием трехфазного кровотока до сих пор не установлен. Существует по меньшей мере несколько гипотез, с помощью которых пытаются объяснить происхождение L-волны. Первая гипотеза была предложена G. Keren и соавт. еще в 1986 г. [14]. По мнению G. Keren и соавт., быстрый поток раннего наполнения ЛЖ через малоподатливый митральный клапан приводит к падению давления в ЛП настолько, что быстро нарастающее давление в желудочке способно создавать обратный градиент давления, что приводит к остановке антеградного трансмитрального кровотока. Восстановление положительного предсердно-желудочкового градиента давления вследствие поступающей крови из легочных вен приводит к формированию L-волны [12]. Другая гипотеза была предложена L. Hatle [1], в соответствии с которой замедленная релаксация ЛЖ может приводить к формированию L-волны. В продолжение этого предположения C.S. Lam и соавт. показали, что нередко существующая при этом волна движения фиброзного кольца митрального клапана в импульсно-волновом тканевом доплере L' , которая предшествует L-волне трансмитрального кровотока, позволяет предположить процесс активного диастолического подсасывающего эффекта [15]. Вероятно,

трехфазный трансмитральный кровоток с формированием L-волны на уровне створок и является отражением описанных патофизиологических механизмов и именно поэтому у большинства этих пациентов регистрируется диастолическая дисфункция ЛЖ.

Наряду с этим E. Ghosh и соавт. предположили и показали в своем исследовании у здоровых лиц, что L-волна может быть зарегистрирована и при расположении зоны интереса в импульсно-волновом доплеровском режиме на некотором расстоянии от створок митрального клапана по направлению к срединным отделам ЛЖ, и в таком случае L-волна формируется повторным входом (re-entry) вихреобразного потока, обусловленного волной раннего наполнения ЛЖ [16]. Регистрация трехфазного внутрижелудочкового кровотока в полости ЛЖ, вероятно, обусловлена именно этим механизмом повторного входа вихреобразного потока, регистрируется существенно чаще именно дистальнее митрального клапана, и у таких пациентов диастолическая дисфункция регистрируется существенно реже.

Таким образом, трехфазный трансмитральный кровоток регистрируется существенно реже по сравнению с трехфазным внутрижелудочковым кровотоком (8,5% по сравнению с 28,5%). Трехфазный трансмитральный и трехфазный внутрижелудочковый кровотоки, вероятно, обусловлены различными механизмами их возникновения. При регистрации трехфазного трансмитрального кровотока следует убедиться в правильном позиционировании контрольного объема в импульсно-волновом доплеровском режиме на уровне концов створок митрального клапана. Трехфазный трансмитральный кровоток обычно наблюдается у пациентов с диастолической дисфункцией ЛЖ. При обнаружении трехфазного внутрижелудочкового кровотока его не следует расценивать как ассоциированный с диастолической дисфункцией ЛЖ.

Наши предположения носят косвенный характер, и мы выражаем надежду, что новые технологии с картированием внутрисердечных потоков позволят более доказательно объяснить природу трехфазных трансмитрального и трехфазного трансжелудочкового кровотоков.

Ограничения исследования

Основным ограничением нашего исследования является отсутствие верифицирующего метода оценки состояния диастолической функции ЛЖ, так как инвазивные исследования не выполнялись у обследованных нами лиц.

Исследование выполнено на селективной группе пациентов, что не позволяет перенести его результаты на всю популяцию пациентов с потенциально возможной диастолической дисфункцией ЛЖ, в частности на лиц с гипертрофией миокарда ЛЖ, клапанными пороками сердца. Очевидно, что указанные и другие группы пациентов требуют специального изучения.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Трехфазный трансмитральный кровоток регистрируется существенно реже по сравнению с трехфазным внутрижелудочковым кровотоком (8,5% по сравнению с 28,5%). Трехфазный трансмитральный кровоток чаще наблюдается у пациентов с диастолической дисфункцией левого желудочка. При обнаружении трехфазного внутрижелудочкового кровотока его не следует расценивать как ассоциированный с диастолической дисфункцией левого желудочка.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ [REFERENCES]

- Hatle L. Doppler echocardiographic evaluation of diastolic function in hypertensive cardiomyopathies. *Eur. Heart J.* 1993; 14, Suppl. J: 88–94. PMID: 8281971
- Di Virgilio E., Monitillo F., Santoro D. et al. Mid-Diastolic Events (L Events): A Critical Review. *J. Clin. Med.* 2021; 10 (23): 5654. <http://doi.org/10.3390/jcm10235654>
- Masai K., Mano T., Goda A. et al. Correlates and Prognostic Values of Appearance of L Wave in Heart Failure Patients With Preserved vs. Reduced Ejection Fraction. *Circ. J.* 2018; 82 (9): 2311–2316. <http://doi.org/10.1253/circj.CJ-18-0417>
- Su H.M., Lin T.H., Hsu P.C. et al. Incremental prognostic value of identifying mitral L wave in patients with atrial fibrillation. *Int. J. Cardiol.* 2013; 168 (4): 4501–4503. <http://doi.org/10.1016/j.ijcard.2013.06.118>
- Ghosh E., Caruthers S.D., Kovács S.J. E-wave generated intraventricular diastolic vortex to L-wave relation: model-based prediction with in vivo validation. *J. Appl. Physiol.* (1985). 2014; 117 (3): 316–324. <http://doi.org/10.1152/japplphysiol.00215.2014>
- Lang R.M., Badano L.P., Mor-Avi V. et al. Recommendations for cardiac chamber quantification by echocardiography in adults: an update from the American Society of Echocardiography and the European Association of Cardiovascular Imaging. *Eur. Heart J. Cardiovasc. Imaging.* 2015; 16 (3): 233–270. <http://doi.org/10.1093/ehjci/jev014>
- Nagueh S.F., Smiseth O.A., Appleton C.P. et al. Recommendations for the Evaluation of Left Ventricular Diastolic Function by Echocardiography: An Update from the American Society of Echocardiography and the European Association of Cardiovascular Imaging. *J. Am. Soc. Echocardiogr.* 2016; 29 (4): 277–314. <http://doi.org/10.1016/j.jecho.2016.01.011>
- Ha J.W., Oh J.K., Redfield M.M. et al. Triphasic mitral inflow velocity with middiastolic filling: clinical implications and associated echocardiographic findings. *J. Am. Soc. Echocardiogr.* 2004; 17 (5): 428–431. <http://doi.org/10.1016/j.jecho.2004.02.007>
- Kim S.A., Son J., Shim C.Y. et al. Long-term outcome of patients with triphasic mitral flow with a mid-diastolic L wave: prognostic role of left atrial volume and N-terminal pro-brain natriuretic peptide. *Int. J. Cardiovasc. Imaging.* 2017; 33 (9): 1377–1384. <http://doi.org/10.1007/s10554-017-1122-2>
- Merdler I., Richert E., Hochstadt A. et al. Echocardiographic L-wave as a prognostic indicator in transcatheter aortic valve replacement. *Int. J. Cardiovasc. Imaging.* 2020; 36 (10): 1897–1905. <http://doi.org/10.1007/s10554-020-01903-8>
- Lam C.S., Han L., Oh J.K. et al. The mitral annular middiastolic velocity curve: functional correlates and clinical significance in patients with left ventricular hypertrophy. *J. Am. Soc. Echocardiogr.* 2008; 21 (2): 165–170. <http://doi.org/10.1016/j.jecho.2007.05.027>
- Masai K., Mano T., Goda A. et al. Correlates and Prognostic Values of Appearance of L Wave in Heart Failure Patients With Preserved vs. Reduced Ejection Fraction. *Circ. J.* 2018; 82 (9): 2311–2316. <http://doi.org/10.1253/circj.CJ-18-0417>
- Saito C., Minami Y., Arai K. et al. Prognostic Significance of the Mitral L-Wave in Patients With Hypertrophic Cardiomyopathy. *Am. J. Cardiol.* 2020; 130: 130–136. <http://doi.org/10.1016/j.amjcard.2020.05.040>
- Keren G., Meisner J.S., Sherez J. et al. Interrelationship of mid-diastolic mitral valve motion, pulmonary venous flow, and transmitral flow. *Circulation.* 1986; 74 (1): 36–44. <http://doi.org/10.1161/01.cir.74.1.36>
- Lam C.S., Han L., Oh J.K. et al. The mitral annular middiastolic velocity curve: functional correlates and clinical significance in patients with left ventricular hypertrophy. *J. Am. Soc. Echocardiogr.* 2008; 21 (2): 165–170. <http://doi.org/10.1016/j.jecho.2007.05.027>
- Ghosh E., Caruthers S.D., Kovács S.J. E-wave generated intraventricular diastolic vortex to L-wave relation: model-based prediction with in vivo validation. *J. Appl. Physiol.* (1985). 2014; 117 (3): 316–324. <http://doi.org/10.1152/japplphysiol.00215.2014>

Triphasic diastolic transmitral and intraventricular blood flows and their relationship with LV diastolic dysfunction according to echocardiography

M.N. Alekhin^{1,2}, A.M. Grishin¹, A.V. Skripnikova¹, A.Yu. Kapustina^{1,2*}

¹ Central Clinical Hospital of the Presidential Administration of the Russian Federation;
15, Marshal Timoshenko str., Moscow 121359, Russian Federation

² Central State Medical Academy of the Presidential Administration of the Russian Federation;
19-1A, Marshal Timoshenko str., Moscow 121359, Russian Federation

Mikhail N. Alekhin – Doct. of Sci. (Med.), Professor, Head of Functional Diagnostics Department, Central Clinical Hospital of the Presidential Administration of the Russian Federation; Professor, Division of Therapy, Cardiology, Functional Diagnostics, and Nephrology, Central State Medical Academy of the Presidential Administration of the Russian Federation, Moscow. <https://orcid.org/0000-0002-9725-7528>

Aleksey M. Grishin – Cand. Sci. (Med.), doctor of functional diagnostics, Central Clinical Hospital with Outpatient Clinic of Department of Presidential Affairs, Moscow. <https://orcid.org/0009-0001-7102-5614>

Anna V. Skripnikova – doctor of functional diagnostics, Central Clinical Hospital with Outpatient Clinic of Department of Presidential Affairs, Moscow. <https://orcid.org/0009-0007-3541-0834>

Anastasiya Yu. Kapustina – functional diagnostics doctor, Central Clinical Hospital of the Presidential Administration of the Russian Federation; Assistant Professor, Central State Medical Academy of the Presidential Administration of the Russian Federation, Moscow. <https://orcid.org/0000-0002-7072-9783>

Correspondence* to Dr. Anastasiya Yu. Kapustina – e-mail: nast.capustina@yandex.ru

An acceleration of blood flow in the diastasis phase with the formation of the so-called L-wave may be found in some patients. The transmitral blood flow is transformed into a triphasic in the presence of L-wave.

Objective: to assess the frequency of L-wave presence and to evaluate the relationship between the presence of L-wave in Doppler imaging of left ventricular blood flow, transmitral blood flow at the level of the mitral valve leaflets, and modern criteria for assessing left ventricular diastolic function.

Material and methods. The study included 105 patients (age 62.21 ± 11.97 (29–91) years, 61 men) with sinus rhythm. From a total of examined patients, 30 were conditionally healthy, 64 patients suffered from coronary heart disease, and 11 suffered from arterial hypertension. Pulsed-wave Doppler ultrasound of transmitral flow was performed in the apical 4-chamber view with the sample volume located at the level of the ends of the mitral valve leaflets, as well as at the level of the basal and middle segments of the left ventricle. The distinct positive wave on the spectrogram during the diastasis phase with a speed exceeding 20 cm/s was considered an additional L-wave, and such blood flow in diastole was considered triphasic.

Results. Triphasic transmitral blood flow was found in 9 patients (8.5%), and triphasic intraventricular blood flow in another 30 patients (28.5%). Patients with triphasic transmitral blood flow were older, with a greater left atrial volume index, and LV diastolic dysfunction was more often detected compared to patients with triphasic intraventricular blood flow (66.7% compared to 23.3%, $p = 0.042$).

Conclusion. Triphasic transmitral blood flow is revealing significantly less frequently than triphasic intraventricular blood flow (8.5% compared to 28.5%, $p < 0.001$). Triphasic transmitral blood flow is more often observed in patients with left ventricular diastolic dysfunction.

Keywords: *L wave; intraventricular vortex; diastolic function; left ventricular; Doppler echocardiography*

Conflict of interests. The authors have no conflicts of interest to declare.

Financing. This study had no sponsorship.

Citation: Alekhin M.N., Grishin A.M., Skripnikova A.V., Kapustina A.Yu. Triphasic diastolic transmitral and intraventricular blood flows and their relationship with LV diastolic dysfunction according to echocardiography. *Ultrasound and Functional Diagnostics*. 2024; 3: 9–20. <https://doi.org/10.24835/1607-0771-092> (In Russian)

ISSN 1607-0771(Print); ISSN 2408-9494 (Online)

<https://doi.org/10.24835/1607-0771-271>

Сопоставление полуавтоматического способа анализа деформации миокарда левых камер сердца с ручной трассировкой миокарда при спекл-трекинг-эхокардиографии

М.Г. Матвеева*, Т.А. Заренкова, А.В. Скрипникова,
А.М. Гришин, М.Н. Алехин

ФГБУ “Центральная клиническая больница с поликлиникой” Управления делами
Президента Российской Федерации; 121359 Москва, ул. Маршала Тимошенко, д. 15,
Российская Федерация

Цель исследования: сопоставить полуавтоматический способ оценки деформации миокарда левого желудочка (ЛЖ) и левого предсердия (ЛП) с ручным способом с помощью спекл-трекинг-эхокардиографии.

Материал и методы. Для оценки деформации ЛЖ и ЛП у 110 пациентов использовались два способа – ручной (Q-Analysis) и полуавтоматический (AutoStrain). Оценивались следующие показатели: глобальная продольная систолическая деформация ЛЖ (ГПСД ЛЖ), глобальная продольная деформация ЛП в фазу резервуара (ГПД ЛПр), глобальная продольная деформация ЛП в фазу кондуита (ГПД ЛПк) и глобальная продольная деформация ЛП в фазу сокращения (ГПД ЛПс).

Результаты. При полуавтоматическом способе измерения ГПСД ЛЖ коррективная зона интереса проводилась значительно чаще, чем при ручном (40,1% против 16,4%, $p < 0,05$). Средние значения ГПСД ЛЖ, полученные при полуавтоматическом способе, были ниже и статистически значимо отличались от значений, рассчитанных ручным способом ($18,8 \pm 2,8\%$ против $20,0 \pm 3,1\%$ при $p < 0,001$). При полуавтоматическом способе значения ГПД ЛПр и ГПД ЛПк были выше и до-

Матвеева Марина Георгиевна – канд. мед. наук, врач функциональной диагностики ФГБУ “Центральная клиническая больница с поликлиникой” Управления делами Президента Российской Федерации, Москва.
<https://orcid.org/0000-0001-6056-835X>

Заренкова Татьяна Анатольевна – врач функциональной диагностики ФГБУ “Центральная клиническая больница с поликлиникой” Управления делами Президента Российской Федерации, Москва.
<https://orcid.org/0009-0004-1901-5728>

Скрипникова Анна Вячеславовна – врач функциональной диагностики ФГБУ “Центральная клиническая больница с поликлиникой” Управления делами Президента Российской Федерации, Москва.
<https://orcid.org/0009-0007-3541-0834>

Гришин Алексей Михайлович – канд. мед. наук, врач функциональной диагностики ФГБУ “Центральная клиническая больница с поликлиникой” Управления делами Президента Российской Федерации, Москва.
<https://orcid.org/0009-0001-7102-5614>

Алехин Михаил Николаевич – доктор мед. наук, профессор, заведующий отделением функциональной диагностики ФГБУ “Центральная клиническая больница с поликлиникой” Управления делами Президента Российской Федерации, Москва. <https://orcid.org/0000-0002-9725-7528>

Контактная информация*: Матвеева Марина Георгиевна – e-mail: mgmatveeva@yandex.ru

стоверно отличались от значений, выполненных ручным способом (ГПД ЛПр $31,6 \pm 9,8\%$ против $30,3 \pm 10,8\%$ при $p = 0,038$; ГПД ЛПк $17,1 \pm 7,1\%$ против $15,4 \pm 6,8\%$ при $p < 0,001$). При полуавтоматическом способе требуется больше времени для анализа деформации ЛЖ и меньше времени для оценки деформации ЛП при сравнении с ручным способом.

Выводы. Полуавтоматические способы анализа деформации левых камер сердца оказались более воспроизводимыми при сравнении с ручным способом. При полуавтоматическом способе анализа деформации левого желудочка значения показателя ГПСД ЛЖ оказались ниже, чем при ручном, чаще вносилась корректировка зоны интереса и это занимало больше времени. Полуавтоматический способ анализа деформации левого предсердия характеризовался большими значениями деформации в фазу резервуара и кондуита и требовал меньше времени по сравнению с ручным способом. Показатель ГПД ЛП в фазу резервуара обладает наибольшей воспроизводимостью по сравнению с другими показателями деформации левого предсердия.

Ключевые слова: спекл-трекинг-эхокардиография; левый желудочек; левое предсердие; деформация; полуавтоматический

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии возможных конфликтов интересов.

Финансирование. Исследование проведено без спонсорской поддержки.

Цитирование: Матвеева М.Г., Заренкова Т.А., Скрипникова А.В., Гришин А.М., Алехин М.Н. Сопоставление полуавтоматического способа анализа деформации миокарда левых камер сердца с ручной трассировкой миокарда при спекл-трекинг-эхокардиографии. *Ультразвуковая и функциональная диагностика*. 2024; 3: 21–33. <https://doi.org/10.24835/1607-0771-271>

ВВЕДЕНИЕ

Одной из основных задач эхокардиографии (ЭхоКГ) является оценка функции миокарда. В последние годы все шире для изучения функции миокарда используется анализ показателей его систолической деформации с помощью спекл-трекинг-эхокардиографии (СТЭхоКГ). Изначально СТЭхоКГ разрабатывалась как инструмент для оценки функции миокарда левого желудочка (ЛЖ), но в дальнейшем его применили и для анализа деформации других камер сердца [1–3]. Однако особенности строения левого предсердия (ЛП) ограничивают применение одного и того же программного обеспечения. Поэтому в практику внедряется и используется автоматическое (полуавтоматическое – автоматические с возможностью корректировки) программное обеспечение для анализа каждой камеры сердца в отдельности (AutoStrain) [4].

На сегодня не так много исследований, в которых проводились сравнения деформации миокарда, полученные ручным и полуавтоматическим способами, времени, потраченного на анализ деформации, воспроизводимости двух способов. При этом результаты этих исследований зачастую были неоднозначны [5–7, 8, 9].

Цель исследования: сопоставление полуавтоматического способа оценки деформации миокарда ЛЖ и ЛП с ручным способом с помощью спекл-трекинг-эхокардиографии.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

При плановом трансторакальном ЭхоКГ-обследовании в стационаре с ноября по декабрь 2023 г. у 110 пациентов была применена технология СТЭхоКГ. Для оценки деформации миокарда левых камер сердца использовалось два способа – ручной и полуавтоматический. Критерии включения в исследование: оптимальное качество изображения для проведения анализа деформации ЛЖ и ЛП, наличие на момент исследования у пациента синусового ритма. Критерии исключения: плохое качество двухмерного изображения и нарушения ритма, не позволяющие проводить анализ деформации ЛЖ и/или ЛП. У всех пациентов было получено письменное информированное согласие. Клиническая характеристика пациентов представлена в табл. 1.

Трансторакальное ЭхоКГ-исследование проводилось на ультразвуковом аппарате GE Vivid E9 с мультислотным фазированным датчиком M5S (2,0–5,0 МГц) с одно-

временной записью электрокардиограммы. Измерения камер сердца, оценка систолической функции ЛЖ осуществлялись в соответствии со стандартным ЭхоКГ-протоколом, рекомендованным Американским обществом по эхокардиографии и Европейской ассоциацией по сердечно-сосудистой визуализации [10].

Для оценки деформации миокарда ЛЖ были использованы позиции по длинной оси ЛЖ на 4 и 2 камеры. Для оценки деформации ЛП использовали апикальную четырехкамерную позицию, при которой ЛП визуализировалось в максимально длинном его сечении. Частота кадров составляла не менее 50 в секунду. Дальнейший анализ деформации ЛЖ и ЛП проводился на рабочей станции EchoPAC GE с использованием программного обеспечения Q-Analysis и AutoStrain. Оценивались следующие показатели: глобальная продольная систолическая деформация ЛЖ (ГПСД ЛЖ), глобальная продольная деформация ЛП в фазу резервуара (ГПД ЛПр), глобальная продольная деформация ЛП в фазу кондукта (ГПД ЛПк) и глобальная продольная деформация ЛП в фазу сокращения (ГПД ЛПс). Анализ деформации миокарда левых камер сердца проводился с использованием одной и той же кинопетли как для ручного, так и для полуавтоматического способа.

Ручной анализ деформации левых камер сердца проводился на рабочей станции EchoPAC GE с использованием программного обеспечения Q-Analysis.

Для анализа деформации ЛЖ врач последовательно методом “точка–щелчок” трассировал ЛЖ по внутреннему эндокардиальному контуру миокарда в каждой из трех позиций (по длинной оси ЛЖ, на 4 и 2 камеры). Результаты трассировки сравнивались с движением стенок ЛЖ. Если область интереса какого-либо сегмента не согласовывалась с движением стенки ЛЖ, то выполнялась корректировка. Затем программное обеспечение анализировало движение миокарда во всех трех позициях и выстраивало параметрические кривые изменения деформации каждого из сегментов ЛЖ и среднего значения ГПСД ЛЖ (рис. 1).

Для анализа деформации ЛП ручным способом использовалось программное обеспечение Q-Analysis, разработанное для

Таблица 1. Клиническая характеристика пациентов

Table 1. Clinical characteristics of patients

Показатели	Значения
Возраст, годы	60,9 ± 14,1
ППТ, м ²	2,0 ± 0,24
ИМТ, кг/м ²	28,7 ± 4,99
ФВ ЛЖ, %	58 ± 5
ИБС	30 (27,3%)
ГБ:	
I стадия	6 (5,4%)
II стадия	53 (48,2%)
III стадия	19 (17,3%)
СН, NYHA:	
I класс	5 (4,5%)
II класс	34 (31%)
III класс	3 (2,7%)
СД	10 (9,1%)
ХОБЛ	4 (3,6%)
НРС (в том числе пароксизмальная фибрилляция предсердий)	32 (29,1%)

Примечание. ППТ – площадь поверхности тела; ИМТ – индекс массы тела; ФВ ЛЖ – фракция выброса левого желудочка; ИБС – ишемическая болезнь сердца; ГБ – гипертоническая болезнь; СН – сердечная недостаточность; СД – сахарный диабет; ХОБЛ – хроническая обструктивная болезнь легких; НРС – нарушения ритма сердца.

ЛЖ. Врач также методом “точка–щелчок” трассировал эндокардиальную поверхность ЛП в апикальной четырехкамерной позиции, начиная с одной стороны митрального клапана (МК), экстраполируя ее между устьями легочных вен и ушка ЛП и заканчивая другой стороной МК. Результаты трассировки сравнивались с движением стенки ЛП. Затем программой автоматически создавалась область интереса. Врачу необходимо было вручную настроить толщину зоны интереса. Она не должна была превышать 3 мм, чтобы покрывать только миокард ЛП и не захватывать прилежащие структуры [11, 12]. Затем программой автоматически осуществлялось разделение области интереса на 6 сегментов и генерировались кривые деформации для каждого из них. Глобальная продольная деформация ЛП рассчитыва-

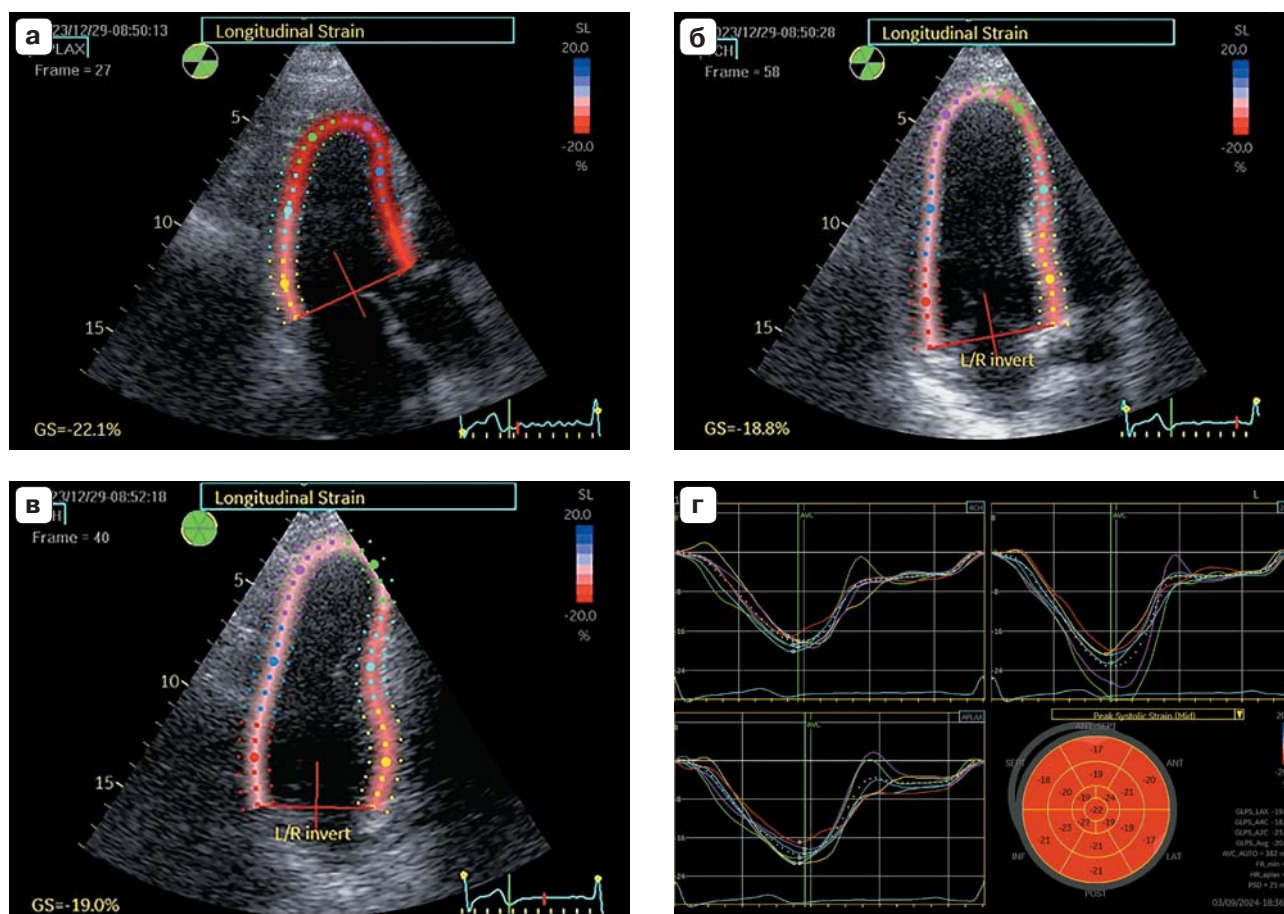


Рис. 1. Оценка глобальной продольной систолической деформации ЛЖ ручным способом. а–в – отслеживание миокарда ЛЖ в стандартных апикальных позициях; г – кривые деформации миокарда каждого из сегментов и средние значения деформации (пунктирные линии), диаграмма “бычий глаз”.

Fig. 1. Manual method of LV global longitudinal systolic strain assessment: а–в – tracking of the LV myocardium in standard apical positions; г – myocardial strain curves of each segment and average strain values (dashed lines), “bull’s eye” diagram.

лась путем усреднения значений всех сегментов и на графике представлялась пунктирной кривой, состоящей из трех фаз, каждая из которых была измерена вручную. ГПД ЛП_р определялась как разница максимальной продольной деформации ЛП и конечной диастолической деформации ЛП, ГПД ЛП_к – как разница максимальной продольной деформации ЛП и деформация ЛП в начале сокращения предсердия, ГПД ЛП_с – как разница деформации ЛП в начале сокращения предсердия и конечной диастолической деформации ЛП (рис. 2).

Полуавтоматический анализ деформации левых камер сердца проводился на рабочей станции EchoPAC GE с использованием программного обеспечения AutoStrain.

Для оценки деформации ЛЖ использовался алгоритм Automated functional imaging (AFI). Врач в каждой из трех позиций (по длинной оси ЛЖ, на 4 и 2 камеры) выставял определенные реперные точки. Далее программа автоматически отслеживала эндокард на протяжении сердечного цикла, генерировала область интереса и выстраивала графики продольной деформации всех сегментов и среднего значения ГПСД ЛЖ. Врач мог контролировать качество отслеживания для каждого сегмента. В случае неудовлетворительной автоматической трассировки эндокарда ЛЖ врач вручную корректировал область интереса для получения адекватного и пригодного для анализа очерчивания ЛЖ (рис. 3).

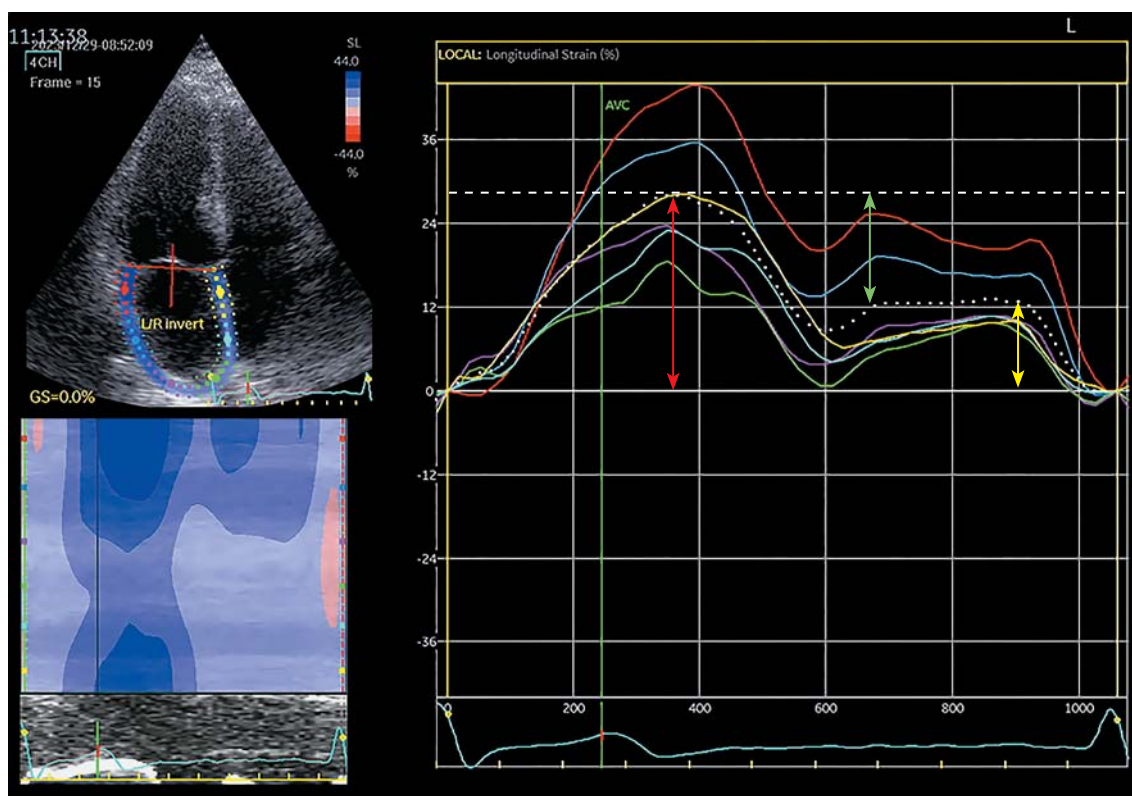


Рис. 2. Оценка глобальной продольной деформации ЛП ручным способом. На графике пунктирной линией обозначена ГПД ЛП: красная стрелка – в фазу резервуара, зеленая стрелка – в фазу кондукта, желтая стрелка – в фазу сокращения.

Fig. 2. Manual method of LA global longitudinal strain assessment. The dotted line on the graph indicates the LA GLS: the red arrow – in the reservoir phase, the green arrow – in the conduit phase, the yellow arrow – in the contraction phase.

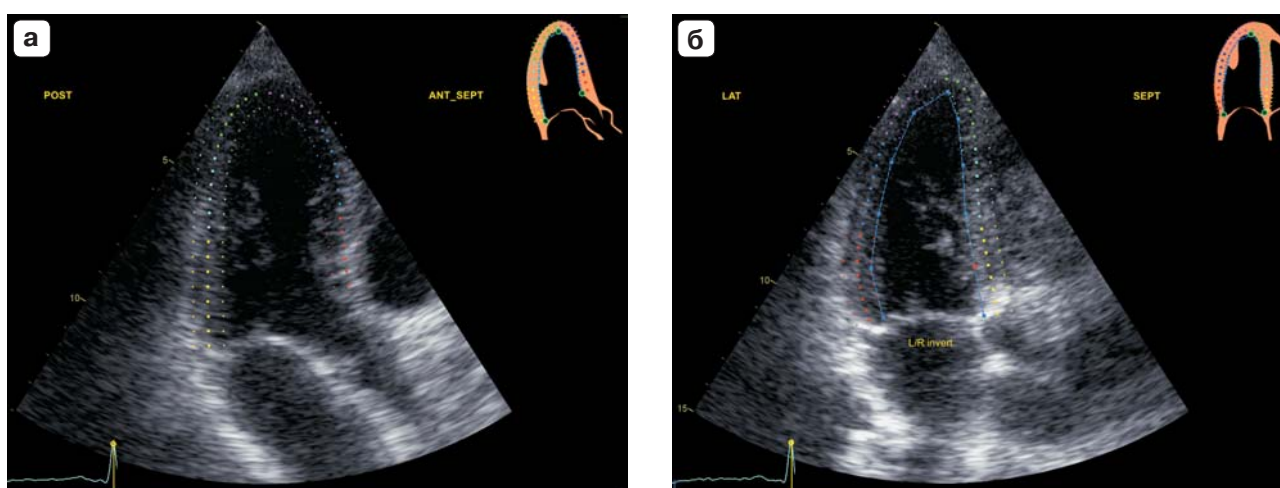


Рис. 3. Оценка глобальной продольной систолической деформации ЛЖ полуавтоматическим способом. а–в – отслеживание миокарда ЛЖ в стандартных апикальных позициях; г – диаграмма “бычий глаз”.

Fig. 3. Semi-automatic method of LV global longitudinal systolic strain: а–в – tracking of the LV myocardium in standard apical positions; г – “bull’s eye” diagram.

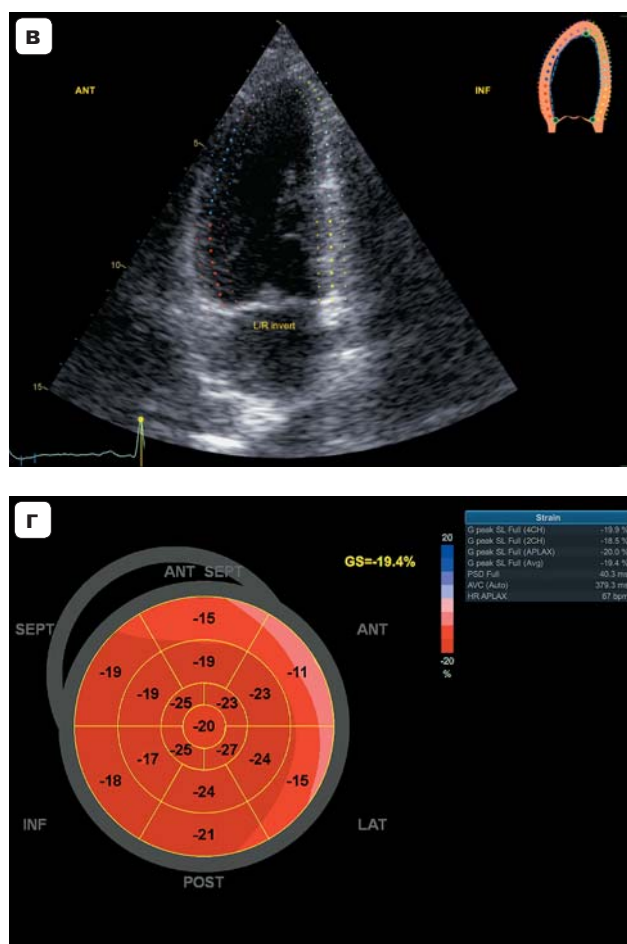


Рис. 3 (окончание).
Fig. 3 (end).

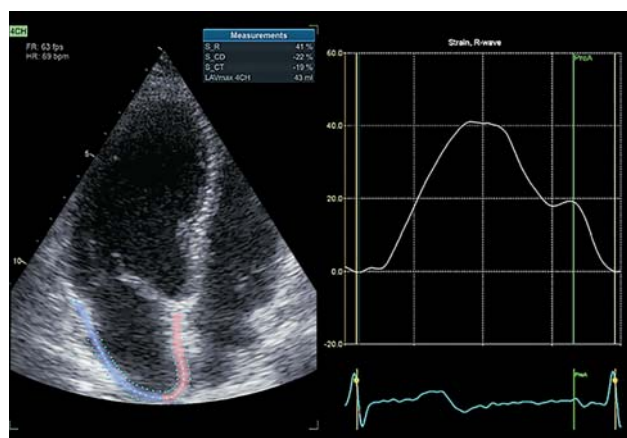


Рис. 4. Оценка глобальной продольной деформации ЛПП полуавтоматическим способом.

Fig. 4. Semi-automatic method of LA global longitudinal strain assessment.

Для анализа деформации ЛПП использовалось программное обеспечение AutoStrain LA. На полученном четырехкамерном апикальном изображении врач выставил три реперные точки: две – на латеральном и медиальном кольцах МК и одну – в области верхушки ЛПП. Далее программа автоматически генерировала область интереса с заданной толщиной 3 мм, отслеживала эндокард и представляла кривую деформации и значения деформации ЛПП в каждой из трех фаз. Врач контролировал качество отслеживания. В случае неадекватной автоматической трассировки эндокарда ЛПП врач мог скорректировать область интереса для правильной оценки деформации (рис. 4).

Мы использовали модули абсолютных значений ГПСД ЛЖ, ГПД ЛПк, ГПД ЛПс [6].

Время анализа деформации

Время измерения деформации рассчитывалось у 20 случайно выбранных пациентов и определялось как время от начала анализа выбранного ЭхоКГ-изображения до завершения расчета деформации.

Внутриисследовательская и межисследовательская воспроизводимость каждого из способов оценивалась у 30 случайно выбранных пациентов. Для определения внутриисследовательской воспроизводимости один и тот же исследователь выполнял все измерения дважды с временным интервалом 30 дней. Для оценки межисследовательской воспроизводимости два опытных врача выполняли измерения, после чего данные первого врача сопоставлялись с данными, полученными вторым врачом. Врачи не имели данные предыдущих измерений.

Статистический анализ

Накопление исходной информации и последующий статистический анализ осуществлялся в электронных таблицах Microsoft Office Excel. Статистическая обработка материала исследования проводилась с использованием методов параметрического анализа. Количественные показатели оценивались на предмет соответствия нормальному гауссовскому распределению.

При определении количественных показателей, имеющих нормальное распределение, проводился расчет средних значений (M) и стандартных отклонений (σ), границ

95% доверительного интервала (95% ДИ). Категориальные переменные представлены как числа и проценты.

Соотношение между корректировками зоны интереса при полуавтоматическом способе исследования по отношению к ручному в нашей работе характеризуется показателем χ^2 Пирсона, показывающим статистическую значимость их отличий при уровне значимости $p < 0,05$.

Для сравнения и корреляции показателей деформаций, измеренных двумя способами, использовались парный t-критерий Стьюдента и линейный корреляционный анализ. Для оценки соответствия между двумя способами оценки деформации миокарда использовался анализ по методу Бланда–Альтмана. Внутри- и межисследовательская вариабельность измерений оценивалась с использованием коэффициента корреляции и анализа Бланда–Альтмана, затем сила корреляции оценивалась по шкале Чеддока. При анализе Бланда–Альтмана были рассчитаны среднее смещение и доверительные интервалы (ДИ) как среднее смещение $\pm 1,96 \times$ стандартное отклонение. Значение $p < 0,05$ считалось статистически значимым.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

В исследование было включено 110 пациентов (68 (61,8%) были мужчины). Средний возраст пациентов составил $60,9 \pm 14,1$ года. Средняя фракция выброса ЛЖ

(ФВ ЛЖ) составила 58% (диапазон от 30 до 72%). Характеристика пациентов представлена в табл. 1.

Анализ деформации левого желудочка

При полуавтоматическом способе измерения ГПСД ЛЖ у 45 (40,1%) пациентов потребовалась корректировка зоны интереса, тогда как при ручном способе только у 18 (16,4%) пациентов. При этом частота корректировки при полуавтоматическим способом исследования была статистически значимой по сравнению с ручным ($p < 0,05$).

При полуавтоматическом способе средние значения показателя ГПСД ЛЖ были ниже и статистически значимо отличались от значений, полученных ручным способом анализа деформации ($18,8 \pm 2,8\%$ против $20,0 \pm 3,1\%$ при $p < 0,001$) (табл. 2). Корреляция между двумя способами оценки деформации была высокая ($r = 0,80$). Результаты анализа Бланда–Альтмана представлены в табл. 2 и на рис. 5.

Анализ деформации левого предсердия

При полуавтоматическом способе анализа деформации ЛП всего лишь у 13 (11,8%) пациентов потребовалась корректировка области интереса, тогда как при ручном способе корректировка области интереса требовалась значительно чаще – у 44 (40%) пациентов.

Проведенный статистический анализ средних значений измерений деформации ЛП в различные фазы показал следующие

Таблица 2. Сравнение ручного и полуавтоматического способов оценки деформации левого желудочка и левого предсердия

Table 2. Comparison of manual and semi-automatic methods of LA and LV strain assessment

Показатели	Ручной	Полуавтоматический	p	r	Среднее смещение (95% ДИ)
ГПСД ЛЖ, %	$20,0 \pm 3,1$	$18,8 \pm 2,8$	$<0,001^*$	0,80	$-1,26 (-4,99; 2,47)$
ГПД ЛПр, %	$30,3 \pm 10,8$	$31,6 \pm 9,8$	0,038*	0,81	$1,03 (-11,36; 13,96)$
ГПД ЛПк, %	$15,4 \pm 6,8$	$17,1 \pm 7,1$	$<0,001^*$	0,73	$1,73 (-8,23; 11,69)$
ГПД ЛПс, %	$14,9 \pm 6,7$	$14,6 \pm 6,5$	$>0,05$	0,8	$-0,38 (-8,54; 7,78)$

Примечание. p – парный t-тест, сравнивающий ручные и полуавтоматические измерения; r – показатель корреляции. * – значения статистически значимые.

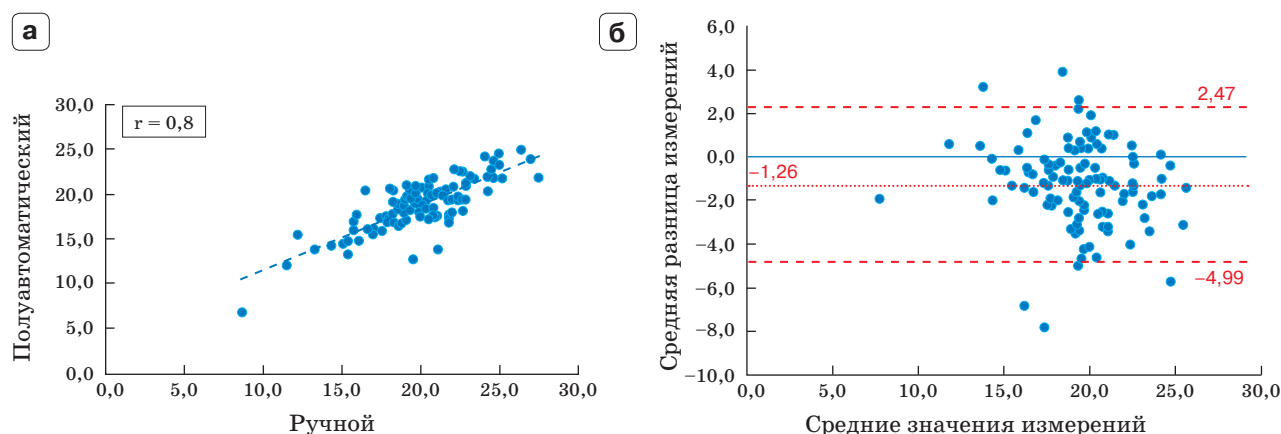


Рис. 5. Линейная корреляция (а) и анализ Бланда–Альмана (б) значений измерений ГПСД ЛЖ, полученных двумя способами анализа деформации левого желудочка – ручным и полуавтоматическим.

Fig. 5. Linear correlation (a) and Bland-Altman analysis (б) of LV GLS values obtained by two methods of LV strain analysis: manual and semi-automatic.

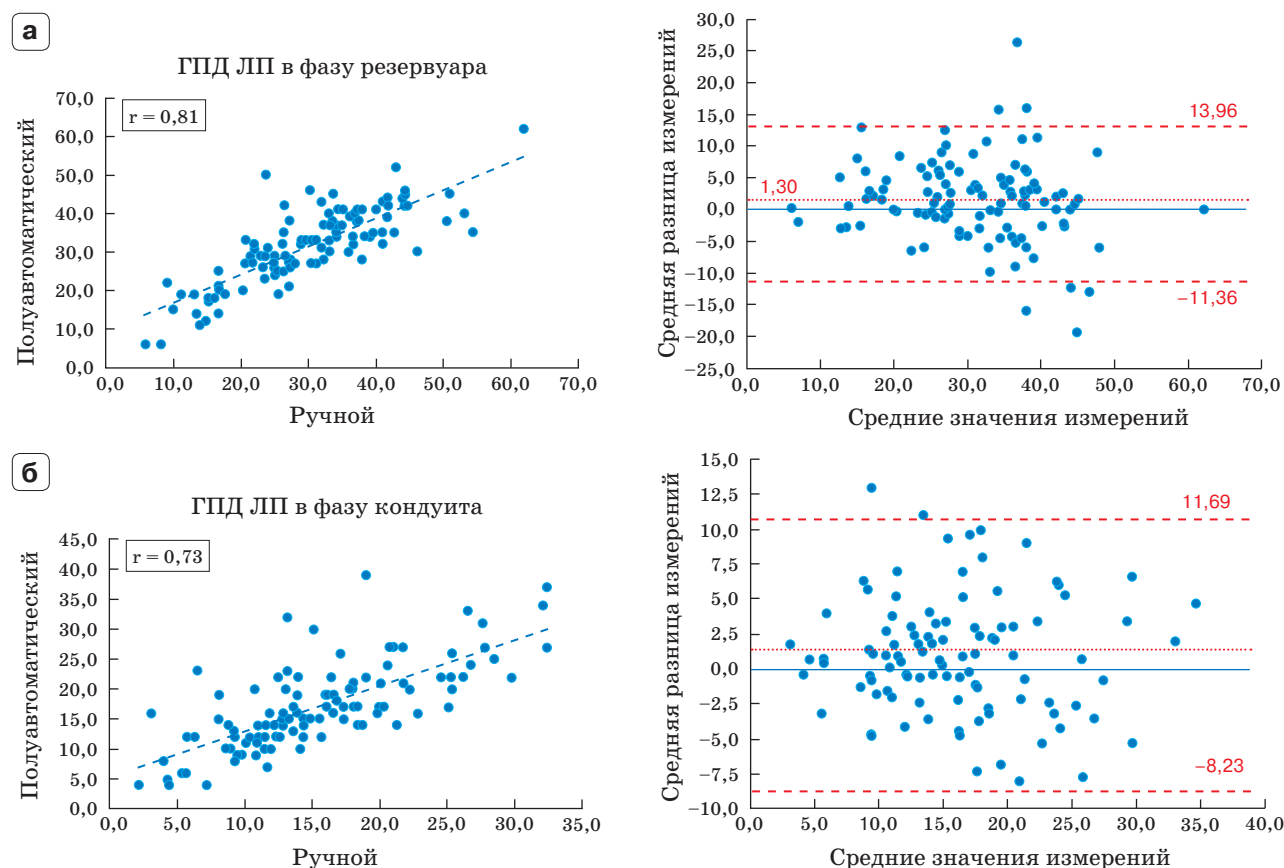


Рис. 6. Линейная корреляция и анализ Бланда–Альмана значений измерений ГПД ЛП в фазу резервуара (а), фазу кондукта (б), фазу сокращения (в), полученных двумя способами анализа деформации левого предсердия – ручным и полуавтоматическим.

Fig. 6. Linear correlation and Bland-Altman analysis of of LV GLS values in reservoir phase (а), conduit phase (б), contraction phase (в), obtained by two methods of LA strain analysis: manual and semi-automatic.

В

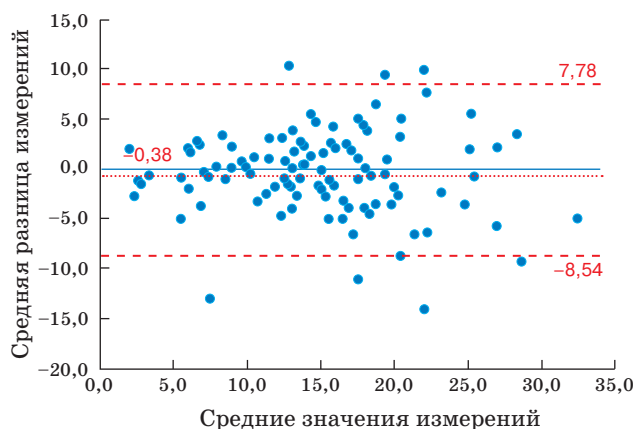
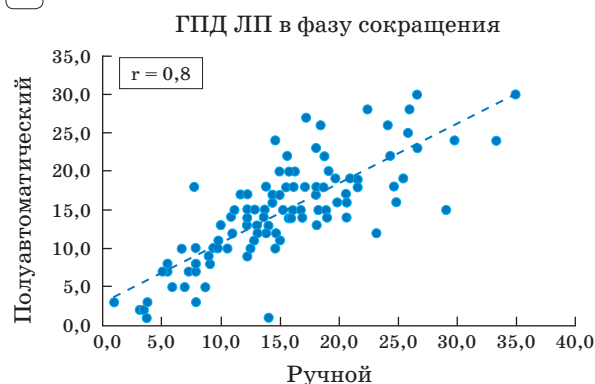


Рис. 6 (окончание).
Fig. 6 (end).

результаты. Значения деформации ЛП в фазу резервуара и кондуита, измеренные при полуавтоматическом способе, были выше и статистически значимо отличались от значений, выполненных ручным способом (ГПД ЛПр $31,6 \pm 9,8\%$ против $30,3 \pm 10,8\%$ при $p = 0,038$; ГПД ЛПк $17,1 \pm 7,1\%$ против $15,4 \pm 6,8\%$ при $p < 0,001$). Значимых различий в значениях измерений ГПД ЛП в фазу сокращения, измеренных двумя способами, получено не было (см. табл. 2). Корреляция между ручным и полуавтоматическим способами была высокая: для ГПД ЛПр – 0,81, для ГПД ЛПк – 0,73, для ГПД ЛПс – 0,8. Результаты анализа Бланда–Альтмана представлены на рис. 6 и в табл. 2.

Анализ времени, потраченного на оценку деформации левых камер сердца

Для анализа деформации ЛЖ у 20 пациентов при ручном способе потребовалось

меньше времени, чем при полуавтоматическом ($55,4 \pm 4,7$ с против $61,8 \pm 5,6$ с при $p < 0,001$) (табл. 3).

В то же время при оценке деформации ЛП меньше времени ($19,5 \pm 2,2$ с против $24,7 \pm 3,8$ с при $p < 0,001$) потребовалось при полуавтоматическом способе, чем при ручном.

Анализ воспроизводимости

Внутри- и межисследовательская воспроизводимость при обоих способах оценки деформации левых камер сердца была хорошая, на что указывают высокие внутриклассовые коэффициенты корреляции (см. табл. 3). Более узкие значения среднего смещения межисследовательской вариабельности при полуавтоматическом способе, чем при ручном, по результатам анализа Бланда–Альтмана свидетельствуют о высокой межисследовательской воспроизводимости полуавтоматического способа оценки

Таблица 3. Время, потраченное на анализ деформации левого желудочка и левого предсердия ручным и полуавтоматическим способами

Table 3. Time spent on LA and LV strain assessment by manual and semi-automatic methods

Показатели	Ручной	Полуавтоматический	p
ГПД ЛЖ, с	$55,4 \pm 4,7$	$61,8 \pm 5,6$	$<0,001^*$
ЛП, с	$24,7 \pm 3,8$	$19,5 \pm 2,2$	$<0,001^*$

Примечание. * – $p < 0,001$.

Таблица 4. Сравнение внутри- и межисследовательской вариабельности ручного и полуавтоматического способов анализа деформации левых камер сердца**Table 4.** Comparison of intra- and interobserver variability of manual and semi-automatic methods of LA and LV strain assessment

Показатели	Внутриисследовательская вариабельность, ВКК		Межисследовательская вариабельность, ВКК	
	ручной	полуавтоматический	ручной	полуавтоматический
ГПСД ЛЖ	0,85*	0,89*	0,86*	0,91*
Среднее смещение	0,41	0,22	-0,33	0,25
95% ДИ	(-1,72; 2,54)	(-1,24; 1,69)	(-2,50; 1,84)	(-1,10; 1,61)
ГПД ЛПр	0,94*	0,94*	0,95*	0,93*
Среднее смещение	1,08	-1,02	-1,94	-0,57
95% ДИ	(-8,48; 6,32)	(-7,45; 5,05)	(-8,46; 4,59)	(-7,09; 5,96)
ГПД ЛПк	0,94*	0,89*	0,91*	0,95*
Среднее смещение	-0,06	-0,50	1,63	-0,37
95% ДИ	(-5,34; 5,46)	(-7,03; 6,03)	(-8,14; 4,89)	(-4,87; 4,13)
ГПД ЛПс	0,89*	0,87*	0,94*	0,91*
Среднее смещение	-1,00	-1,03	-0,71	-0,10
95% ДИ	(-5,80; 3,79)	(-6,66; 4,59)	(-4,16; 2,74)	(-4,36; 4,16)

Примечание. ВКК – внутриклассовый коэффициент корреляции. * – $p < 0,001$.

ЛЖ и ЛП. Внутриклассовые коэффициенты корреляции, среднее смещение и ДИ при анализе Бланда–Альтмана приведены в табл. 4.

ОБСУЖДЕНИЕ

Анализ деформации миокарда левого желудочка

В ходе исследования выявлено, что при полуавтоматическом способе оценки деформации миокарда ЛЖ потребовалась ручная корректировка области интереса в 40,1% случаев. Следует отметить, что высокий процент корректировки (40%) также наблюдался и в работе Н. Kawakami и соавт., тогда как в исследовании G.J. Peng и соавт. он был существенно ниже и составлял 9,6% [8, 7]. Причиной такой вариабельности показателя может быть разная популяция пациентов. В нашей работе и в исследовании Н. Kawakami и соавт. это в основном были лица пожилого возраста ($60,9 \pm 14,1$ года и 71 ± 5 лет соответственно). У этой группы пациентов часто акустическая доступность сердца снижена по сравнению с молодыми людьми из-за ряда сопутствующих факторов (ожирение, заболевания легких). При ручном способе врач сам визуально оценивает границы эндокарда и трасси-

рует область интереса, поэтому не всегда требуется идеальное качество изображения, тогда как при полуавтоматическом анализе деформации эту функцию выполняет программное обеспечение. Для полуавтоматического программного обеспечения с целью оптимального определения границ эндокарда требуется двухмерное изображение высокого качества, чтобы более корректно отслеживать зону интереса. При соблюдении этих условий также снижается частота вмешательства врача. Так это было в исследовании G.J. Peng и соавт., где средний возраст пациентов составил 40 ± 11 лет [7].

В нашем исследовании при полуавтоматическом способе среднее значение ГПСД ЛЖ было значительно ниже, чем при ручном ($18,8 \pm 2,8\%$ против $20,0 \pm 3,1\%$ при $p < 0,001$). В работе Н. Kawakami и соавт., наоборот, при ручном способе оценки деформации ЛЖ значения деформации были ниже по сравнению с полуавтоматическим [8].

Высокий процент внесения корректировок при полуавтоматическом способе оценки деформации миокарда, скорее всего, повлиял и на время, затраченное на анализ деформации ЛЖ в нашем исследовании. Для оценки деформации ЛЖ полуавтома-

тическим способом потребовалось больше времени ($61,8 \pm 5,6$ с) по сравнению с ручной трассировкой эндокарда ($55,4 \pm 4,7$ с). Такие же результаты были получены в работе У. Kobayashi и соавт. [9]. Поэтому мы не можем утверждать, что полуавтоматический способ более быстрый и требует меньше времени именно для анализа деформации миокарда ЛЖ. Необходимы дальнейшие исследования в этом направлении.

Так, результаты нашего исследования показывают высокую воспроизводимость (коэффициент корреляции 0,80) полуавтоматического способа оценки деформации ЛЖ.

Внутри- и межисследовательский анализ ГПСД ЛЖ показал, что воспроизводимость полуавтоматического способа лучше, чем при ручном, на что указывают более высокие коэффициенты корреляции. Этот же вывод подтверждают и невысокие значения среднего смещения при анализе по Бланду–Альтману полуавтоматического способа в сравнении с ручным, что дает меньшую вариабельность измерений.

Таким образом, проведенный статистический анализ полученных нами результатов позволяет говорить о том, что полуавтоматический способ оценки ГПСД ЛЖ обладает более высокой воспроизводимостью, но требует больше времени для выполнения анализа и дает меньшие значения ГПСД ЛЖ по сравнению с ручным способом оценки деформации.

Анализ деформации левого предсердия

Результаты нашего исследования показали, что при использовании полуавтоматического способа в оценке деформации ЛП процент ручной корректировки был небольшой (11,8%), что согласуется с данными литературы [7].

Значения измерений ГПД ЛП_р и ГПД ЛП_к, рассчитанные при полуавтоматическом способе, были статистически значимо выше, чем при ручном ($31,6 \pm 9,8\%$ против $30,3 \pm 10,8\%$ и $17,1 \pm 7,1\%$ против $15,4 \pm 6,8\%$ соответственно). В настоящее время исследований, где сравниваются различные способы в оценке деформации ЛП, немного и результаты неоднозначны [6, 7]. В нашем исследовании при полуавтоматическом способе оценки деформации ЛП были получены высокие показатели ГПД

ЛП_р и ГПД ЛП_к, которые статистически значимо отличались от ручного способа. Похожие результаты были также продемонстрированы в работе G.L. Peng и соавт. [7]. А вот в исследовании О. Mirea и соавт. значения показателей деформации ЛП при полуавтоматическом способе были ниже, чем при ручном, и не достигали статистической значимости [6]. Такие противоречивые результаты могут быть следствием нескольких причин. Во-первых, в исследованиях анализ деформации ЛП проводился с помощью различных программных обеспечений фирм-производителей, что может приводить к разным значениям показателей деформации ЛП. Во-вторых, различные настройки области интереса при ручном и при полуавтоматическом способах. При ручной трассировке эндокарда ЛП используется программа для оценки деформации ЛЖ с исходно иными параметрами. При использовании этой программы для определения деформации ЛП требуется последующая корректировка области интереса в соответствии с рекомендациями EACVI/ASE шириной до 3 мм [11], чтобы избежать включения прилежащих структур (перикарда, легочных вен), которые могут занижать значения ГПД ЛП. А в программное обеспечение для полуавтоматического способа оценки деформации ЛП уже заложены особенности строения и движения стенки ЛП. Если и возникает необходимость в коррекции зоны отслеживания, то она, как показывает практика, минимальна.

Минимальная корректировка зоны отслеживания, а также отсутствие необходимости вручную измерять каждую фазу деформации снижают время, которое тратится на оценку деформации ЛП при полуавтоматическом способе по сравнению с ручным ($19,5 \pm 2,2$ с против $24,7 \pm 3,8$ с соответственно). Наши результаты согласуются с исследованиями, представленными в литературе [6, 7].

Анализ деформации ЛП ручным и полуавтоматическим способами обладает хорошей внутри- и межисследовательской воспроизводимостью с высокими внутриклассовыми коэффициентами корреляции. Анализ по Бланду–Альтману показал более низкие межисследовательские значения среднего смещения при полуавтоматическом способе, чем при ручном, что свиде-

тellecтвует о небольшой вариабельности измерений полуавтоматическим способом.

Вышеперечисленные факты и то, что полуавтоматический способ оценки деформации ЛП обладает высокой воспроизводимостью (коэффициент корреляции 0,81), делает анализ деформации ЛП методом СТЭхоКГ привлекательным к применению в повседневной практике врача.

Таким образом, использование полуавтоматического способа в оценке деформации ЛП потенциально может облегчить анализ функции этой камеры сердца.

ВЫВОДЫ

1. Полуавтоматические способы анализа деформации левых камер сердца оказались более воспроизводимыми при сравнении с ручными способами.

2. При полуавтоматическом способе анализа деформации левого желудочка значения показателя ГПСД ЛЖ оказались ниже, чем при ручном, чаще вносилась корректировка зоны интереса и это занимало больше времени.

3. Полуавтоматический способ анализа деформации левого предсердия характеризовался большими значениями деформации в фазу резервуара и кондуита и требовал меньше времени по сравнению с ручным способом.

4. Показатель ГПД ЛП в фазу резервуара обладает наибольшей воспроизводимостью по сравнению с другими показателями деформации левого предсердия.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ [REFERENCES]

1. Voigt J.U., Pedrizzetti G., Lysyansky P. et al. Definitions for a common standard for 2D speckle tracking echocardiography: consensus document of the EACVI/ASE/Industry Task Force to standardize deformation imaging. *J. Am. Soc. Echocardiogr.* 2015; 28 (2): 183–193. <https://doi.org/10.1016/j.echo.2014.11.003>
2. Donal E., Behagel A., Feneon D. Value of left atrial strain: a highly promising field of investigation. *Eur. Heart J. Cardiovasc. Imaging.* 2015; 16 (4): 356–357. <https://doi.org/10.1093/ehjci/jeu230>
3. Mirea O., Berceanu M., Donoiu I. et al. Variability of right ventricular global and segmental longitudinal strain measurements. *Echocardiography.* 2019; 36 (1): 102–109. <https://doi.org/10.1111/echo.14218>
4. Kitano T., Nabeshima Y., Negishi K., Takeuchi M. Prognostic value of automated longitudinal strain measurements in asymptomatic aortic stenosis. *Heart.* 2020; 12 (14). <http://doi.org/10.1136/heartjnl-2020-318256>
5. Li Y., Sun C., Zhang L. et al. Feasibility, Reproducibility, and Prognostic Value of Fully Automated Measurement of Right Ventricular Longitudinal Strain. *J. Am. Soc. Echocardiogr.* 2022; 35 (6): 609–619. <https://doi.org/10.1016/j.echo.2022.01.016>
6. Mirea O., Duchenne J., Voigt J.U. Comparison between Nondedicated and Novel Dedicated Tracking Tool for Right Ventricular and Left Atrial Strain. *J. Am. Soc. Echocardiogr.* 2022; 35 (4): 419–425. <https://doi.org/10.1016/j.echo.2021.11.011>
7. Peng G.J., Luo S.Y., Zhong X.F. et al. Feasibility and reproducibility of semi-automated longitudinal strain analysis: a comparative study with conventional manual strain analysis. *Cardiovasc. Ultrasound.* 2023; 21 (1): 12. <https://doi.org/10.1186/s12947-023-00309-5>
8. Kawakami H., Wright L., Nolan M. et al. Feasibility, Reproducibility, and Clinical Implications of the Novel Fully Automated Assessment for Global Longitudinal Strain. *J. Am. Soc. Echocardiogr.* 2021; 34 (2): 136–145.e2. <https://doi.org/10.1016/j.echo.2020.09.011>
9. Kobayashi Y., Ariyama M., Kobayashi Y. et al. Comparison of left ventricular manual versus automated derived longitudinal strain: implications for clinical practice and research. *Int. J. Cardiovasc. Imaging.* 2016; 32 (3): 429–437. <https://doi.org/10.1007/s10554-015-0804-x>
10. Lang R.M., Badano L.P., Mor-Avi V. et al. Recommendations for cardiac chamber quantification by echocardiography in adults: an update from the American Society of Echocardiography and the European Association of Cardiovascular Imaging. *J. Am. Soc. Echocardiogr.* 2015; 28 (1): 1–39.e14. <https://doi.org/10.1016/j.echo.2014.10.003>
11. Badano L.P., Kolas T.J., Muraru D. et al. Industry representatives, & Reviewers: This document was reviewed by members of the 2016–2018 EACVI Scientific Documents Committee (2018). Standardization of left atrial, right ventricular, and right atrial deformation imaging using two-dimensional speckle tracking echocardiography: a consensus document of the EACVI/ASE/Industry Task Force to standardize deformation imaging. *European heart journal. Cardiovasc. Imaging.* 2018; 19 (6): 591–600. <https://doi.org/10.1093/ehjci/jeu042>
12. Voigt J.U., Mălăescu G.G., Haugaa K., Badano L. How to do LA strain. *Eur. Heart J. Cardiovasc. Imaging.* 2020; 21 (7): 715–717. <https://doi.org/10.1093/ehjci/jeaa091>

Comparison of a semi-automatic strain analysis of left heart with manual myocardial tracing in speckle-tracking echocardiography

M.G. Matveeva*, T.A. Zarenkova, A.V. Skripnikova,
A.M. Grishin, M.N. Alekhin

Central Clinical Hospital of the Presidential Administration of the Russian Federation;
15, Marshal Timoshenko str., Moscow 121359, Russian Federation

Marina G. Matveeva – Cand. of Sci. (Med.), doctor of functional diagnostics, Central Clinical Hospital of the Presidential Administration of the Russian Federation, Moscow. <https://orcid.org/0000-0001-6056-835X>

Tatyana A. Zarenkova – doctor of functional diagnostics, Central Clinical Hospital of the Presidential Administration of the Russian Federation, Moscow. <https://orcid.org/0009-0004-1901-5728>

Anna V. Skripnikova – doctor of functional diagnostics, Central Clinical Hospital with Outpatient Clinic of Department of Presidential Affairs, Moscow. <https://orcid.org/0009-0007-3541-0834>

Aleksey M. Grishin – Cand. Sci. (Med.), doctor of functional diagnostics, Central Clinical Hospital of the Presidential Administration of the Russian Federation, Moscow. <https://orcid.org/0009-0001-7102-5614>

Mikhail N. Alekhin – Doct. of Sci. (Med.), Professor, Head of Functional Diagnostics Department, Central Clinical Hospital of the Presidential Administration of the Russian Federation, Moscow. <https://orcid.org/0000-0002-9725-7528>

Correspondence* to Dr. Marina G. Matveeva – e-mail: mgmatveeva@yandex.ru

Purpose. To compare a semi-automatic strain analysis of the left ventricle and left atrium with a manual method in speckle-tracking echocardiography.

Materials and methods. A strain of left ventricle and left atrium was assessed in 110 patients by two methods: manual (Q-Analysis) and semi-automatic (AutoStrain). The following parameters were evaluated: LV global longitudinal strain (LV GLS), LA longitudinal strain during the reservoir phase (LASr), LA longitudinal strain during the conduit phase (LAScd), and LA longitudinal strain during the contraction phase (LASct).

Results. The ROI correction was carried out significantly more often with the semi-automatic method of measuring LV GLS than with manual (40.1% vs. 16.4%, $p < 0.05$). There were significant differences in LV GLS average values, LASr values, and LAScd values obtained by the semi-automatic and manual methods. LV GLS average values obtained by the semi-automatic method were lower ($18.8 \pm 2.8\%$ vs. $20.0 \pm 3.1\%$, $p < 0.001$), and the values of LASr and LAScd obtained by the semi-automatic method were higher (LASr $31.6 \pm 9.8\%$ vs. $30.3 \pm 10.8\%$, $p = 0.038$; LAScd $17.1 \pm 7.1\%$ vs. $15.4 \pm 6.8\%$, $p < 0.001$) than in manual. Semi-automatic method takes more time for LV strain analysis and less time for LA strain analysis than manual method.

Conclusion. The semi-automatic method of LV and LA strain evaluation showed higher reproducibility compared with the manual method. With the semi-automatic method, the values of the LV GLS were lower, and the correction of ROI was required more often and took more time than with manual. The semi-automatic method of LA strain evaluation was characterized by higher values in the reservoir and conduit phases and required less time compared to the manual method. The LA longitudinal strain in the reservoir phase showed the highest values of reproducibility compared to other LA strain parameters.

Keywords: speckle-tracking echocardiography; left ventricle; left atrial; strain; semi-automatic

Conflict of interests. The authors have no conflicts of interest to declare.

Financing. This study had no sponsorship.

Citation: Matveeva M.G., Zarenkova T.A., Skripnikova A.V., Grishin A.M., Alekhin M.N. Comparison of a semi-automatic strain analysis of left heart with manual myocardial tracing in speckle-tracking echocardiography. *Ultrasound and Functional Diagnostics*. 2024; 3: 21–33. <https://doi.org/10.24835/1607-0771-271> (In Russian)

ISSN 1607-0771(Print); ISSN 2408-9494 (Online)

<https://doi.org/10.24835/1607-0771-275>

Прогностически значимые показатели векторэлектрокардиографии у пациентов с острой декомпенсацией сердечной недостаточности со сниженной фракцией выброса левого желудочка

А.К. Ваштаниян^{1*}, Т.М. Ускач^{1,2}, В.А. Аманатова¹,
М.Д. Муксинова¹, Т.А. Сахнова¹, Е.В. Блинова¹,
Е.Ш. Кожемякина¹, С.Н. Терещенко¹, А.А. Скворцов¹

¹ ФГБУ “НМИЦ кардиологии имени академика Е.И. Чазова” Минздрава России; 121552 Москва, ул. Академика Чазова, д. 15а, Российская Федерация

² ФГБОУ ДПО “Российская медицинская академия непрерывного профессионального образования” Минздрава России; 125993 Москва, ул. Баррикадная, д. 2/1, стр. 1, Российская Федерация

Ваштаниян Альберт Карапетович – аспирант отдела заболеваний миокарда и сердечной недостаточности ФГБУ “НМИЦ кардиологии имени академика Е.И. Чазова” Минздрава России, Москва.

<https://orcid.org/0009-0009-9581-187X>

Ускач Татьяна Марковна – доктор мед. наук, ведущий научный сотрудник отдела заболеваний миокарда и сердечной недостаточности ФГБУ “НМИЦ кардиологии имени академика Е.И. Чазова” Минздрава России; профессор кафедры кардиологии ФГБОУ ДПО “Российская медицинская академия непрерывного профессионального образования” Минздрава России Москва. <https://orcid.org/0000-0003-4318-0315>.

Аманатова Валерия Александровна – канд. мед. наук, научный сотрудник отдела заболеваний миокарда и сердечной недостаточности ФГБУ “НМИЦ кардиологии имени академика Е.И. Чазова” Минздрава России, Москва. <https://orcid.org/0000-0002-0678-9538>

Муксинова Марина Дамировна – канд. мед. наук, врач-кардиолог отдела заболеваний миокарда и сердечной недостаточности ФГБУ “НМИЦ кардиологии имени академика Е.И. Чазова” Минздрава России, Москва. <https://orcid.org/0000-0001-6516-5322>

Сахнова Тамара Анатольевна – канд. мед. наук, старший научный сотрудник лаборатории ЭКГ ФГБУ “НМИЦ кардиологии имени академика Е.И. Чазова” Минздрава России, Москва. <https://orcid.org/0000-0002-5543-7184>

Блинова Елена Валентиновна – канд. мед. наук, научный сотрудник лаборатории ЭКГ ФГБУ “НМИЦ кардиологии имени академика Е.И. Чазова” Минздрава России, Москва. <https://orcid.org/0000-0001-8725-7084>

Кожемякина Елена Шамилевна – программист лаборатории ЭКГ ФГБУ “НМИЦ кардиологии имени академика Е.И. Чазова” Минздрава России, Москва. <https://orcid.org/0000-0002-9349-0998>

Терещенко Сергей Николаевич – доктор мед. наук, руководитель отдела заболеваний миокарда и сердечной недостаточности ФГБУ “НМИЦ кардиологии имени академика Е.И. Чазова” Минздрава России, Москва. <https://orcid.org/0000-0001-9234-6129>

Скворцов Андрей Андреевич – доктор мед. наук, ведущий научный сотрудник отдела заболеваний миокарда и сердечной недостаточности ФГБУ “НМИЦ кардиологии имени академика Е.И. Чазова” Минздрава России, Москва. <https://orcid.org/0000-0003-2712-927>

Контактная информация*: Ваштаниян Альберт Карапетович – e-mail: Vashtanyan.albert@yandex.ru

Актуальность. Вычислительная векторэлектрокардиография (вЭКГ) является методом визуализации суммарного выброса вектора сердца в трехмерном пространстве на основе 12 отведенных и распределенных вычислительных процедур. Этот метод может быть сторонним способом оценки тяжести и прогноза у пациентов с острой декомпенсацией сердечной недостаточности (ОДСН).

Цель исследования: изучить параметры вЭКГ, связанные с неблагоприятным прогнозом у пациентов с ОДСН.

Материал и методы. Проанализированы данные вЭКГ 100 пациентов с ОДСН. Всем пациентам проводилось исходно клиническое обследование, эхокардиография и определение натрийуретического пептида (NT-proBNP). В ходе наблюдения в течение 12 мес фиксировались летальные исходы. Оценивалась взаимосвязь показателей вЭКГ и NT-proBNP с прогнозом пациентов.

Результаты. В данном исследовании скончались 17 пациентов. По полученным данным вЭКГ выжившие пациенты имели меньший пространственный угол $QRS-T$ по сравнению с умершими ($p = 0,039$). Выявлены статистически незначимые показатели ($p = 0,076$) индекса планарности в группе скончавшихся пациентов. По данным ROC-анализа с чувствительностью 53% и специфичностью 71% было получено отрезное значение пространственного угла $QRS-T$, равное $164,5^\circ$. При превышении этого значения вероятность летального исхода увеличивается. Было выявлено пороговое значение неблагоприятного прогноза для NT-proBNP у пациентов с величиной угла $QRS-T$ $164,5^\circ$, которое составило 999,35 пг/мл.

Заключение. вЭКГ может быть использована в качестве простого метода для прогнозирования и оценки риска летального исхода у пациентов с ОДСН и сниженной фракцией выброса левого желудочка. Наиболее значимым показателем является значение пространственного угла $QRS-T$. Увеличение пространственного угла $QRS-T$ связано с повышением риска летального исхода. Таким образом, анализ данных вЭКГ может быть полезным инструментом для идентификации пациентов с высоким риском и принятия решений по тактике ведения.

Ключевые слова: острая декомпенсация сердечной недостаточности; мозговой натрийуретический пептид (NT-proBNP); вычислительная векторэлектрокардиография; пространственный угол $QRS-T$; индекс планарности

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии возможных конфликтов интересов.

Финансирование. Исследование проведено без спонсорской поддержки.

Цитирование: Ваштанян А.К., Ускач Т.М., Аманатова В.А., Муксинова М.Д., Сахнова Т.А., Блинова Е.В., Кожемякина Е.Ш., Терещенко С.Н., Скворцов А.А. Прогностически значимые показатели векторэлектрокардиографии у пациентов с острой декомпенсацией сердечной недостаточности со сниженной фракцией выброса левого желудочка. *Ультразвуковая и функциональная диагностика*. 2024; 3: 34–45. <https://doi.org/10.24835/1607-0771-275>

ВВЕДЕНИЕ

Проблема острой декомпенсации хронической сердечной недостаточности (ОДСН) актуальна в современном мире. По международным данным за последние годы терапевтические подходы к лечению хронической сердечной недостаточности (ХСН) стали эффективнее, однако существенных положительных изменений в лечении ОДСН не произошло. Так, показатель смерти от всех причин для госпитализированных пациентов с сердечной недостаточностью (СН) составил 17%, а частота госпитализации – 44% в год, что существенно выше по сравнению с амбулаторными пациентами с ХСН [1]. Как показывает регистр ОРАКУЛ-РФ, больные с ОДСН в Российской Федерации

имеют более тяжелое течение болезни по сравнению с пациентами, участвовавшими в зарубежных регистрах [2, 3]. Доля пациентов с фракцией выброса левого желудочка (ФВ ЛЖ) $<40\%$ по российским данным значительно выше, что свидетельствует о более серьезном поражении сердца [3]. ОДСН сопровождается высокой частотой повторных госпитализаций. Так, к 30-му дню после выписки из стационара повторно с диагнозом ОДСН был госпитализирован 31% пациентов, к 90-му дню после выписки из стационара повторно госпитализированы 11%. К 180-му дню число повторных госпитализаций также составило 11%, к 360-му дню – 9,5% [3].

По-видимому, сопутствующие заболевания играют важную роль в развитии декомпенсации у пациентов с ХСН, увеличивая риск летального исхода. Важно принимать во внимание все вышеперечисленные особенности при диагностике, лечении и определении прогноза данной категории больных [4].

При подозрении на ОДСН пациентам показано проведение анализа уровня натрийуретических пептидов в крови и эхокардиографии (ЭхоКГ). Регистрация электрокардиограммы (ЭКГ) играет важную роль в диагностике ОДСН, позволяя различить причины ее возникновения и дифференцировать острые состояния [4]. Однако для оценки прогноза и динамики заболевания регистрация обычной ЭКГ, как правило, не используется. Для этих целей могут применяться более усовершенствованные методы, такие как векторэлектрокардиография (вЭКГ). Этот метод регистрирует изменения электрических сил сердца в течение сердечного цикла в пространстве, а не вдоль определенной линии, как при обычной ЭКГ. Ранее для проведения вЭКГ требовались специальные системы с электродами и специализированные аппараты. Однако современные цифровые аппараты позволяют реализовать этот метод с использованием специальных (матричных) вычислительных процедур и получения вычислительной вЭКГ.

вЭКГ является важным инструментом для ранней диагностики таких заболеваний, как гипертоническая болезнь и ишемическая болезнь сердца [5]. Однако на сегодняшний день в доступной литературе не представлена информация о ее применении в оценке течения ОДСН у пациентов со сниженной ФВ ЛЖ.

Цель исследования: изучение параметров вЭКГ, связанных с неблагоприятным прогнозом у пациентов с ОДСН со сниженной ФВ ЛЖ.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

Исследование проведено на базе ФГБУ “НМИЦ кардиологии имени академика Е.И. Чазова” Минздрава России. В нем приняли участие 100 пациентов с СН и низкой ФВ ЛЖ ($\leq 40\%$), диагноз которым был установлен как минимум за 3 мес до включения в исследование. Пациенты включались в

момент госпитализации по поводу ОДСН. Диагноз ОДСН устанавливался согласно алгоритмам действующих клинических рекомендаций [4, 6]. Все пациенты подписывали информированное согласие. Протокол исследования был одобрен на заседании комитета по этике ФГБУ “НМИЦ кардиологии имени академика Е.И. Чазова” Минздрава России от 21 ноября 2022 №9/401.

Критериями исключения были: наличие у пациента острых заболеваний и операций, которые, по мнению исследователя, могли бы отрицательно повлиять на прогноз (такие как острый коронарный синдром, острые хирургические состояния и т.д.), наличие в анамнезе миокардита, инфаркта миокарда, коронарного шунтирования, имплантации устройств в течение предыдущих 3 мес; ожидаемая продолжительность жизни менее 12 мес. В исследование не включались пациенты с хронической болезнью почек IV стадии и более и уровнем гемоглобина менее 90 г/л.

Всем пациентам проводилось исходно клиническое обследование, включающее в себя регистрацию ЭКГ в 12 общепринятых отведениях.

Запись ЭКГ проводилась в положении пациента лежа, при свободном дыхании с использованием модуля регистрации и передачи данных EASY ECG. Для этого было использовано 12 общепринятых отведений в модульной системе, и частота дискретизации сигнала достигала 500 Гц. Регистрация ЭКГ проводилась в автоматическом режиме, продолжительность 10 с. Разрешение прибора составляло 0,5 мкВ/разряд, а частотный диапазон фильтров был от 0,05 до 150 Гц. При регистрации не использовались дополнительные фильтры; вЭКГ в ортогональных отведениях по МакФи–Парунгао создавалась при помощи специализированного программного обеспечения (рис. 1). Данный метод обработки разработан совместно лабораторией ЭКГ ФГБУ “НМИЦ кардиологии имени академика Е.И. Чазова” и ИППИ РАН [7].

Для всех проанализированных вЭКГ были оценены: угол между интегральными векторами QRS и T , индекс планарности – классический (отношение длины вектора геометрической площади к пространственной площади петли QRS), индекс планарности 2 – отношение площади проекции

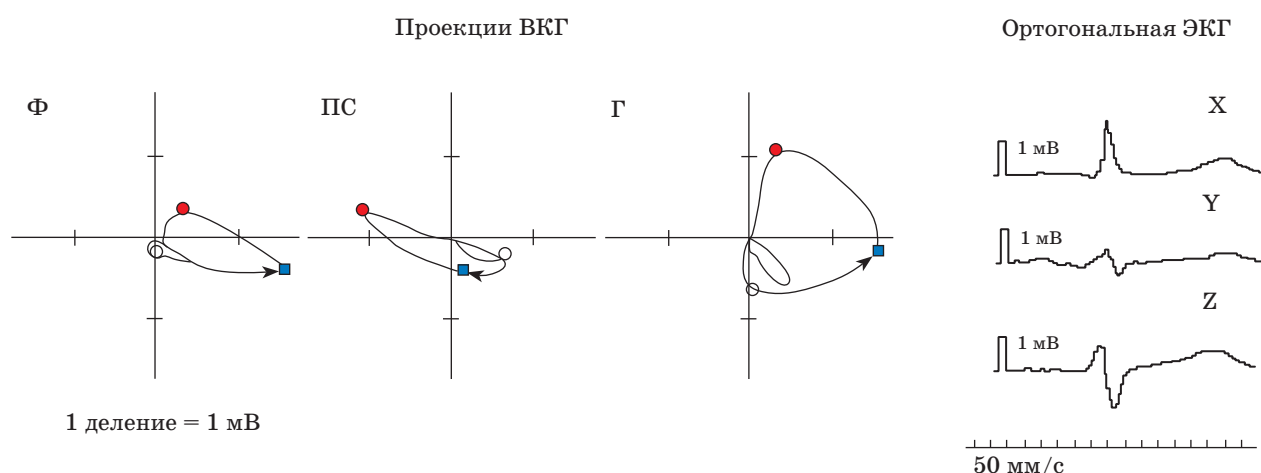


Рис. 1. Ортогональные ЭКГ, векторкардиограммы по МакФи–Парунгао. Ф – фронтальная плоскость, ПС – правая сагиттальная плоскость, Г – горизонтальная плоскость, X, Y, Z – отведения ортогональной ЭКГ [8].

Fig. 1. Orthogonal ECG, vectorcardiograms according to McFee-Parungao. F – frontal plane, PS – right sagittal plane, H – horizontal plane, X, Y, Z – leads of orthogonal ECG [8].

петли *QRS* на плоскость наилучшего приближения (без учета площади перегибов) к пространственной площади петли *QRS*, индекс планарности 3 – отношение площади проекции петли *QRS* на плоскость наилучшего приближения (с добавлением площади перегибов) к пространственной площади петли *QRS*.

Также всем пациентам при включении в исследование проводилась двухмерная ЭхоКГ, режим M-mode, доплерэхокардиография, режим цветового доплеровского картирования кровотока. Исследование сохранялось в цифровом формате для анализа в автономном режиме. В дальнейшем изображение обрабатывалось на рабочей станции EchoPac (version 6.1, General Electric Medical Health). Выполнялась оценка ФВ ЛЖ (biplane Simpson).

Проводилось определение уровня мозгового натрийуретического пептида в плазме крови (NT-proBNP) при включении в исследование.

Продолжительность исследования составила 12 мес. В ходе наблюдения фиксировались летальные исходы.

Статистический анализ данных проводился табличным процессором Excel 2010 и пакетом статистических программ Statistica 10 (StatSoft Inc., США). Качественные величины представлены как абсолютные

значения и проценты. Использовались следующие методы статистического анализа: U-критерий Манна–Уитни, точный критерий Фишера. Выборочные параметры, приводимые в таблице, представлены в виде $M (\pm SD)$ и $Me [Lq; Uq]$, где M – среднее, SD – стандартное отклонение, Me – медиана, Lq ; Uq – межквартильный размах. Уровень различий считался достоверным при $p < 0,05$, значения $0,05 < p < 0,10$ интерпретировались как тенденция. С применением ROC (receiver operating characteristics)-анализа оценивалась прогностическая ценность количественных переменных и моделей, а также их чувствительность и специфичность.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Включение 100 госпитализированных пациентов по причине ОДСН продолжалось в течение полутора лет. Большинство пациентов были мужчинами. По этиологии ХСН половина пациентов перенесли инфаркт миокарда, остальные имели неишемические причины развития ХСН (табл. 1).

Регистрация вЭКГ проводилась исходно в 1-е сутки госпитализации. Анализировались параметры вЭКГ; наиболее значимые исходные параметры, имеющие значение для оценки прогноза, представлены в табл. 2.

Таблица 1. Характеристика пациентов с ОДСН при включении в исследование (n = 100)**Table 1.** Characteristics of patients with ADHF at inclusion in the study (n = 100)

Показатель	Значение
Мужчины/женщины, n (%)	87 (87)/13 (13)
Возраст, годы	63 [34; 85]
Масса тела, кг	96 [57; 197]
Рост, см	177 [156; 191]
ИМТ, кг/м ²	30,7 [21; 55]
Курение, n (%)	38 (38)
ФВ ЛЖ, %	26 [16; 40]
NT-proBNP, пг/мл	1696 [374; 15022]
Сахарный диабет 2 типа, n (%)	22 (22)
СКФ, мл/мин/1,73 м ²	71,8 [40; 113]
Этиология ХСН:	
ИБС, n (%)	51 (51)
ДКМП, n (%)	29 (29)
ГБ, n (%)	20 (20)
ФП при включении, n (%)	35 (35)
ТП, n (%)	5 (5)
Синусовый ритм, n (%)	51 (51)
Артифициальный ритм, n (%)	9 (9)
Блокады ножек пучка Гиса, n (%)	25 (25)
	(БЛНПГ-22, ВПНПГ-3)
Длительность ХСН, мес	66 [12; 175]
Имплантированные устройства, n (%)	16 (16)
	(ИКД-11, ЭКС-3, Оптимайзер-2)

Примечание. Здесь и в табл. 3: ИМТ – индекс массы тела, ФВ ЛЖ – фракция выброса левого желудочка, ХСН – хроническая сердечная недостаточность, ИБС – ишемическая болезнь сердца, ДКМП – дилатационная кардиомиопатия, ГБ – гипертоническая болезнь, ФП – фибрилляция предсердий, ТП – трепетание предсердий, ИКД – имплантация кардиовертера-дефибриллятора, ЭКС – электрокардиостимулятор, БЛНПГ – блокада левой ножки пучка Гиса, ВПНПГ – блокада правой ножки пучка Гиса. Данные представлены как число (%) или медиана [25-й процентиль; 75-й процентиль].

Таблица 2. Характеристики показателей вЭКГ включенных пациентов (n = 100)**Table 2.** The data of vECG parameters in patients included in the study (n = 100)

Показатель	Значение (n = 100)
Угол QRS-T, градусы	156 [63; 178]
ЧСС, уд/мин	86 [49; 129]
Индекс планарности	0,7 [0,03; 0,99]
Индекс планарности 2	0,76 [0,31; 0,99]
Индекс планарности 3	0,82 [0,44; 0,99]
QT, мс	393 [130; 606]

Примечание. Здесь и в табл. 4, 5: Индекс планарности – классический (отношение длины вектора геометрической площади к пространственной площади петли QRS), Индекс планарности 2 – отношение площади проекции петли QRS на плоскость наилучшего приближения (без учета площади перегибов) к пространственной площади петли QRS, Индекс планарности 3 – отношение площади проекции петли QRS на плоскость наилучшего приближения (с добавлением площади перегибов) к пространственной площади петли QRS. Данные представлены как медиана [25-й процентиль; 75-й процентиль].

Таблица 3. Характеристика выживших и умерших пациентов

Table 3. Characteristics of surviving and deceased patients

Характеристика	Выжившие (n = 83)	Умершие (n = 17)	p
Мужчины/женщины, n (%)	71 (85)/12 (14)	16 (94)/1(6)	0,46
Возраст, годы	62 [34; 85]	67 [47; 79]	0,12
Масса тела, кг	92 [57; 197]	101 [78; 147]	0,078
Рост, см	174 [156; 191]	177 [162; 190]	0,15
ИМТ, кг/м ²	30 [21; 55]	32 [24; 44]	0,145
Курение, n (%)	33 (39)	7 (41)	0,914
ФВ ЛЖ, %	34 [26; 39]	28 [19; 34]	0,007
Сахарный диабет 2 типа, n (%)	18 (22)	7 (41)	0,123
Этиология ХСН:			
ИБС, n (%)	46 (55)	11 (65)	0,594
ДКМП, n (%)	31 (37)	5 (29)	0,592
ГБ, n (%)	54 (65)	10 (59)	0,782
ФП при включении, n (%)	26 (31)	9 (53)	0,101
ТП, n (%)	4 (5)	1 (6)	0,974
Синусовый ритм, n (%)	46 (55)	5 (29)	0,064
Артифициальный ритм, n (%)	7 (8)	2 (12)	0,647
Блокады ножек пучка Гиса, n (%):			
левая	22 (27)	9 (53)	0,044
правая	2 (2)	1 (6)	0,431
Длительность ХСН, мес	70 [32;175]	48 [12;163]	0,002
Имплантированные устройства, n (%)	12 (14)	4 (24)	0,465
NT-proBNP, пг/мл	934 [182; 9987]	2411 [174; 15022]	0,019

Основной задачей исследования была оценка прогностически значимых показателей ВЭКГ.

В течение 1 года скончались 17 пациентов. Основной причиной летального исхода у пациентов, включенных в исследование, оказались сердечно-сосудистые осложнения. Проведено сравнение клинико-демографических, инструментальных и лабораторных показателей пациентов в зависимости от наличия или отсутствия летального исхода (табл. 3). Умершие пациенты по сравнению с выжившими имели тенденцию к более высокой массе тела, характеризовались более высокими значениями NT-proBNP, более низкой ФВ ЛЖ, меньшей долей пациентов с синусовым ритмом и большей долей пациентов с блокадой левой ножки пучка Гиса (БЛНПГ).

Анализ данных ВЭКГ выявил статистически значимые различия в показателях в зависимости от летального исхода (табл. 4).

Из данных ВЭКГ видно, что выжившие пациенты имели меньший пространственный угол *QRS-T*, чем умершие в течение 12 мес. Это различие было статистически значимым ($p = 0,039$). Также были обнаружены более низкие показатели индекса планарности у умерших пациентов, но разница не достигала статистической значимости ($p = 0,076$).

В связи с наличием у части пациентов БЛНПГ и имплантированных устройств проводился анализ показателей ВЭКГ у выживших и умерших пациентов с БЛНПГ и имплантированными устройствами, позволивший выявить статистически значимую разницу в значениях угла *QRS-T* у вы-

Таблица 4. Характеристика вЭКГ у выживших и умерших пациентов**Table 4.** The data of vECG parameters of vECG in surviving and deceased patients

Показатель	Выжившие (n = 83)	Умершие (n = 17)	p
Угол <i>QRS-T</i>	155 [63; 177]	161 [102; 178]	0,039
ЧСС, уд/мин	84,5 [49; 129]	90,5 [50; 121]	0,125
Индекс планарности	0,7 [0,06; 0,99]	0,69 [0,03; 0,98]	0,971
Индекс планарности 2	0,76 [0,31; 0,99]	0,75 [0,35; 0,98]	0,985
Индекс планарности 3	0,82 [0,44; 0,99]	0,8 [0,48; 0,98]	0,076
<i>QT</i> , мс	391 [130; 606]	399 [322; 542]	0,956

Таблица 5. Показатели вЭКГ у выживших и умерших пациентов с БЛНПГ и имплантированными устройствами**Table 5.** vECG parameters in surviving and deceased patients with left bundle branch block (LBBB) and implanted devices

БЛНПГ			
показатель	выжившие (n = 22)	умершие (n = 9)	p
Индекс планарности	0,57 [0,11; 0,94]	0,6 [0,03; 0,99]	0,6
Индекс планарности 2	0,66 [0,36; 0,94]	0,68 [0,35; 0,91]	0,5
Индекс планарности 3	0,74 [0,55; 0,94]	0,75 [0,48; 0,91]	0,4
Угол <i>QRS-T</i>	161 [133; 177]	170 [160; 178]	0,041
Имплантированные устройства			
показатель	выжившие (n = 12)	умершие (n = 4)	p
Индекс планарности	0,6 [0,16; 0,98]	0,52 [0,03; 0,91]	0,9
Индекс планарности 2	0,69 [0,31; 0,98]	0,63 [0,35; 0,91]	0,7
Индекс планарности 3	0,78 [0,44; 0,98]	0,73 [0,48; 0,91]	0,6
Угол <i>QRS-T</i>	156 [120; 176]	163 [157; 178]	0,4

Таблица 6. Связь показателей вЭКГ и прогноза у пациентов с ОДСН**Table 6.** Correlation between vECG parameters and prognosis in patients with ADHF

Факторы риска	Отношение шансов	Доверительный интервал	p-value
Угол <i>QRS-T</i>	0,209	(95% ДИ 0,068–0,639)	0,006
Индекс планарности	1,328	(95% ДИ 0,455–3,877)	0,599
Индекс планарности 2	1,548	(95% ДИ 0,516–4,641)	0,431
Индекс планарности 3	1,838	(95% ДИ 0,585–5,771)	0,293

живших и умерших пациентов с БЛНПГ и отсутствие разницы показателей вЭКГ у выживших и умерших пациентов с имплантацией устройств (табл. 5).

При проведении логистического регрессионного анализа установлена статистически значимая связь между значением угла *QRS-T* и летальным исходом, статистически значимой связи между индексами планарности и прогнозом не выявлено. Полученные данные представлены в табл. 6.

Проведен анализ взаимосвязи между пространственным углом *QRS-T* и маркером СН NT-proBNP. Результаты показали положительную значимую взаимосвязь ($p = 0,018$). Это означает, что при увеличении значения пространственного угла *QRS-T* повышается уровень NT-proBNP, что может рассматриваться как маркер неблагоприятного прогноза у пациентов с ОДСН, помимо уровня NT-proBNP (рис. 2).

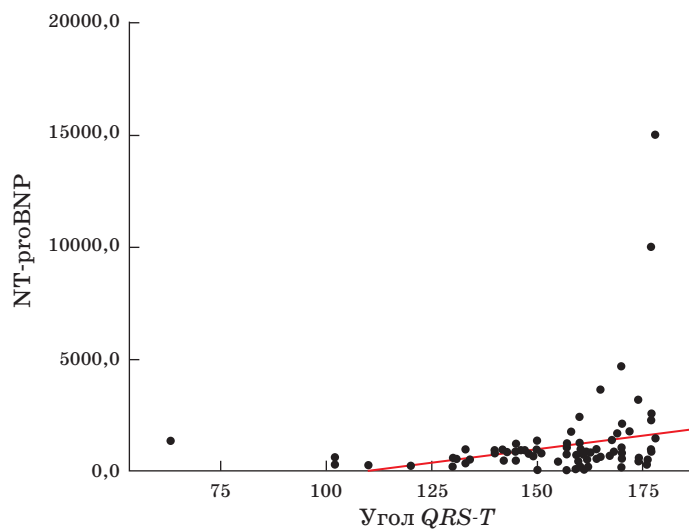


Рис. 2. График корреляции, характеризующий зависимость показателя NT-proBNP от показателя “угол $QRS-T$ ”.

Fig. 2. Correlation graph shows the dependence of the NT-proBNP indicator on the value of $QRS-T$ angle.

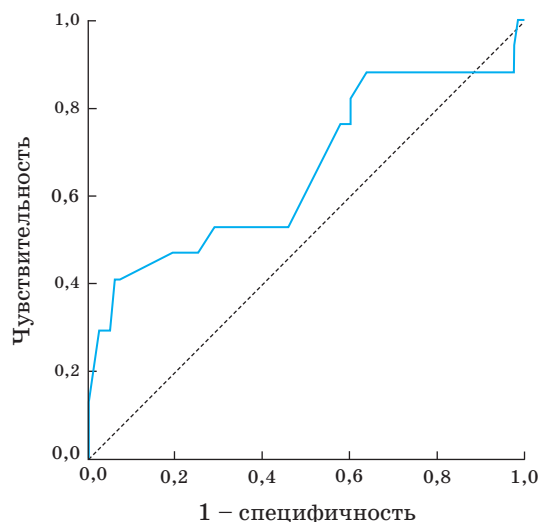


Рис. 3. ROC-кривая, характеризующая возможность применения показателя “угол $QRS-T$ ” для разделения групп выживших и умерших пациентов.

Fig. 3. ROC curve characterizing the ability of using the “ $QRS-T$ angle” parameter to separate groups of surviving and deceased patients.

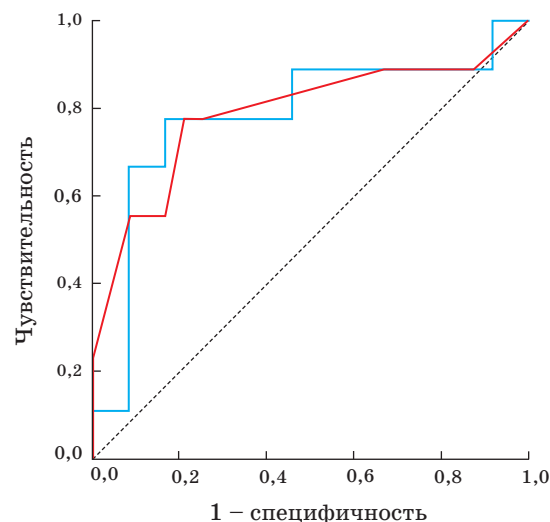


Рис. 4. ROC-кривая, характеризующая зависимость летального исхода у пациентов с величиной угла $QRS-T$ более $164,5^\circ$ и уровня NT-proBNP (красная линия – пространственный угол $QRS-T$, синяя линия – NT-proBNP).

Fig. 4. ROC curve characterizing the dependence of a fatal outcome in patients with a $QRS-T$ angle greater than 164.5° and the NT-proBNP level (red line – spatial $QRS-T$ angle, blue line – NT-proBNP).

На основании значимой корреляции между показателями было необходимо определить критическое значение пространственного угла $QRS-T$, при котором будет наблюдаться прогрессирующее ухудшение прогноза у пациентов с ОДН.

По результатам ROC-анализа с чувствительностью 53% и специфичностью 71% было получено отрезное значение пространственного угла $QRS-T$, равное $164,5^\circ$. При

превышении этого значения вероятность летального исхода увеличивается (рис. 3).

Проведен ROC-анализ зависимости летального исхода у пациентов с углом $QRS-T$ более 165° и уровня NT-proBNP, по результатам которого выявлена значимая модель ($p = 0,012$) (рис. 4). Пороговое значение неблагоприятного прогноза для NT-proBNP составило 999 пг/мл, чувствительность и специфичность модели – 77,8 и 81,8%.

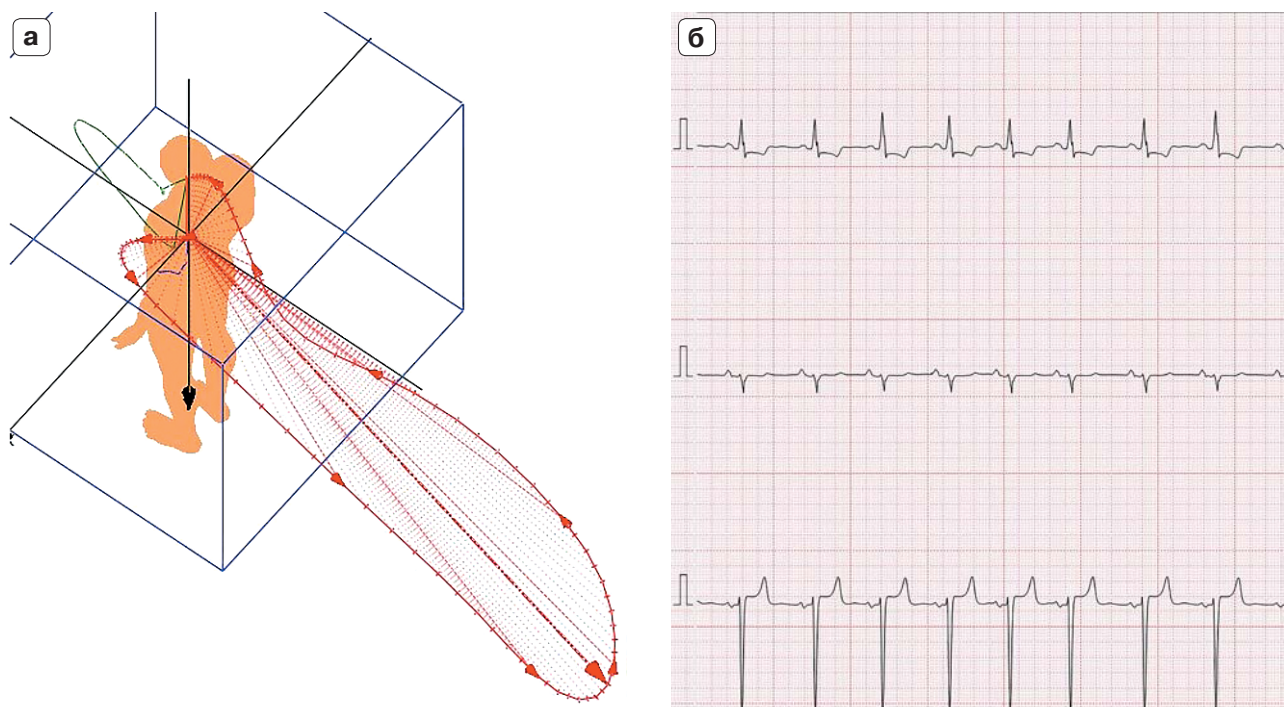


Рис. 5. а – вЭКГ и ортогональная ЭКГ выжившего пациента (мужчина 61 года), прослеживается меньший пространственный угол $QRS-T$ (102°); б – вЭКГ и ортогональная ЭКГ умершего пациента (мужчина 58 лет), отмечается больший пространственный угол $QRS-T$ (больше 177°).

Fig. 5. а – vECG and orthogonal ECG of a surviving patient (61-year-old man), which shows a smaller $QRS-T$ spatial angle (102°); б – vECG and orthogonal ECG of a deceased patient (58-year-old man), which shows a greater $QRS-T$ spatial angle (greater than 177°).

Пространственная объемная модель вЭКГ позволяет наглядно увидеть разницу в показателях пространственного угла. На рис. 5 представлены вЭКГ и ортогональные ЭКГ выжившего и скончавшегося пациентов.

ОБСУЖДЕНИЕ

Прогностически значимыми маркерами ОДСН являются NT-proBNP, ФВ ЛЖ, показатели гемодинамики [9]. Особую роль в диагностике, контроле состояния и прогнозе СН выполняет NT-proBNP, так как повышение данного показателя сопровождается более тяжелыми клиническими проявлениями СН, что увеличивает частоту госпитализаций и количество летальных исходов [10]. Определение NT-proBNP показано всем пациентам, госпитализированным с ОДСН [4]. В нашей работе были проанализированы показатели прогноза у госпитализированных пациентов с ОДСН. Ожидается получение связи снижения ФВ ЛЖ и повышения NT-proBNP с летальным

исходом у пациентов с ОДСН. Так, у умерших пациентов среднее значение ФВ ЛЖ при поступлении составило 28% по сравнению с 34% у выживших. На основании результатов вЭКГ было установлено, что показатель пространственного угла имеет наибольшую связь с прогнозом ОДСН. У пациентов, выживших в течение 12 мес, наблюдались статистически значимо более низкие значения пространственного угла $QRS-T$ по сравнению со скончавшимися пациентами. При увеличении пространственного угла выше $164,5^\circ$ повышается риск летального исхода. Индекс планарности у скончавшихся пациентов продемонстрировал более низкие значения по сравнению с выжившими. Прослеживается взаимосвязь пространственного угла $QRS-T$ и NT-proBNP: чем больше показатель пространственного угла, тем выше значения NT-proBNP. Литературных данных о значении вЭКГ у пациентов с ОДСН в настоящее время не имеется, однако есть данные о пациентах с гипертонической болезнью, ослож-

ненной ХСН. У них прослеживаются высокие значения пространственного угла *QRS-T*, в отличие от пациентов без ХСН [11]. Из этого следует, что величина пространственного угла также может быть как показателем наличия СН, так и маркером динамики и прогноза. Изменения в величине этого угла могут указывать на ухудшение функции сердца и позволить врачам предсказать возможные осложнения и прогнозировать исход заболевания.

Данных о пациентах с имплантированными устройствами в современной литературе мало, но, учитывая наши результаты, полученные данные можно применять в оценке прогноза у пациентов с ОДСН.

При помощи ВЭКГ удастся определять взаимосвязь БЛНПГ с СН. По данным зарубежной литературы, среди пациентов с недавно выявленной БЛНПГ большая векторкардиографическая площадь *QRS* (146–295 мкВ) была связана с повышенным риском диагностики СН, назначением петлевых диуретиков или смерти от СН в течение 5 лет [12].

ОДСН – жизнеугрожающее состояние, требующее максимально полного использования всех возможных диагностических исследований и методов лечения, способных повлиять на клиническое течение и прогноз.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

ВЭКГ может быть использована в качестве простого метода для прогнозирования летального исхода у пациентов с ОДСН и сниженной фракцией выброса левого желудочка. Наиболее значимым показателем является значение пространственного угла *QRS-T*. Увеличение пространственного угла *QRS-T* связано с повышением риска летального исхода. Таким образом, анализ данных ВЭКГ может быть полезным инструментом для идентификации пациентов с высоким риском и принятия решений по тактике ведения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ponikowski P., A. Voors A., D. Anker S., Bueno H., G.F. Cleland J., J.S. Coats A., Falk V., González-Juanatey J., Harjola V., A. Jankowska E., Jessup M., Linde C., Nihoyannopoulos P., T. Parissis J., Pieske B., P. Riley J., M.C. Rosano G., M. Ruilope L., Ruschitzka F., H. Rutten F., van der Meer P. Рекомендации ESC по диагностике и лечению острой и хронической сердечной недостаточности 2016. *Российский кардиологический журнал*. 2017; 1: 7–81. <https://doi.org/10.15829/1560-4071-2017-1-7-81>
2. Maggioni A.P., Dahlström U., Filippatos G. et al.; Heart Failure Association of the European Society of Cardiology (HFA). EURObservational Research Programme: regional differences and 1-year follow-up results of the Heart Failure Pilot Survey (ESC-HF Pilot). *Eur. J. Heart Fail.* 2013; 15 (7): 808–817. <https://doi.org/10.1093/eurjhf/hft050>
3. Арутюнов А.Г., Драгунов Д.О., Арутюнов Г.П., Рылова А.К., Пашкевич Д.Д., Витер К.В. Первое открытое исследование синдрома острой декомпенсации сердечной недостаточности и сопутствующих заболеваний в Российской Федерации. Независимый регистр ОРАКУЛ-РФ <https://dx.doi.org/10.18565/cardio.2015.5.12-21>
4. Терещенко С.Н., Галявич А.С., Ускач Т.М. и др. Российские клинические рекомендации по хронической сердечной недостаточности 2020 года. [https://scardio.ru/content/Guidelines/2020/Clinic_rekom_HSN-unlocked.pdf]
5. Jaros R, Martinek R, Danys L. Comparison of Different Electrocardiography with Vectorcardiography Transformations. *Sensors (Basel)*. 2019; 19 (14): 3072. <https://doi.org/10.3390/s19143072>.
6. Maddox T.M., Januzzi J.L., Larry A. et al. 2021 Update to the 2017 ACC Expert Consensus Decision Pathway for Optimization of Heart Failure Treatment: Answers to 10 Pivotal Issues About Heart Failure With Reduced Ejection Fraction: A Report of the American College of Cardiology Solution Set Oversight Committee. *J. Am. Coll. Cardiol.* 2021; 77 (6): 772–810. <https://doi.org/10.1016/j.jacc.2020.11.022>
7. Трунов В.Г., Айду Э.А., Блинова Е.В., Сахнова Т.А. Синтез сигналов скорректированных ортогональных отведений Макфи–Парунгао по данным электрокардиограммы в 12 отведениях. *Медицинский алфавит*. 2017; 1 (14): 16–21.
8. Блинова Е.В., Сахнова Т.А., Рябыкина Г.В. Использование синтезированной векторкардиограммы в диагностике гипертрофии правого желудочка у больных легочной гипертензией. *Пособие для практикующих врачей. Медицинский алфавит*. 2019; 4 (36): 32–46.
9. Jortani SA, Prabhu SD, Valdes R, Jr. Strategies for developing biomarkers of HF. *Clin Chem*. 2004; 50: 265–278. <https://doi.org/10.1373/clinchem.2003.027557>
10. Терещенко С.Н., Жиров И.В., Насонова С.Н., Николаева О.А., Ледяхова М.В. Патопфизиология острой сердечной недостаточности. Что нового? *Российский кардиологический журнал*. 2016; 9: 52–64.
11. Сахнова Т.А., Блинова Е.В., Юрасова Е.С., Ускач Т.М., Блинова Н.В., Айду Э.А.-И., Трунов В.Г., Саидова М.А. Особенности векторкардиограмм у больных гипертонической болезнью, осложненной хронической сердечной недостаточностью со сниженной фракцией выброса

левого желудочка. *Терапевтический архив*. 2022; 94 (9): 1067–1071. <https://doi.org/10.26442/00403660.2022.09.201843>

12. Andersen D.C., Kragholm K., Petersen L.T. et al. Association between vectorcardiographic QRS area and incident heart failure diagnosis and mortality among patients with left bundle branch block: A register-based cohort study. *J. Electrocardiol.* 2021; 69: 30–35. <https://doi.org/10.1016/j.jelecard.2021.09.002>

REFERENCES

1. Ponikowski P., A. Voors A., D. Anker S. et al. 2016 ESC guidelines for the diagnosis and treatment of acute and chronic heart failure. *Russian Journal of Cardiology*. 2017; 1: 7–81. <https://doi.org/10.15829/1560-4071-2017-1-7-81> (In Russian)
2. Maggioni A.P., Dahlström U., Filippatos G. et al.; Heart Failure Association of the European Society of Cardiology (HFA). EURObservational Research Programme: regional differences and 1-year follow-up results of the Heart Failure Pilot Survey (ESC-HF Pilot). *Eur. J. Heart Fail.* 2013; 15 (7): 808–817. <https://doi.org/10.1093/eurjhf/hft050>
3. Arutyunov A.G., Dragunov D.O., Arutyunov G.P., Rylova A.K., Pashkevich D.D., Viter K.V. The first open study of acute decompensation syndrome of heart failure and concomitant diseases in the Russian Federation. Independent registry ORACLE-RF. <https://dx.doi.org/10.18565/cardio.2015.5.12-21> (In Russian)
4. Tereshchenko S.N., Galyavich A.S., Uskach T.M. et al. Russian clinical recommendations on chronic heart failure 2020. [https://scardio.ru/content/Guidelines/2020/Clinic_rekom_HSN-unlocked.pdf]. (In Russian)
5. Jaros R, Martinek R, Danys L. Comparison of Different Electrocardiography with Vectorcardiography Transformations. *Sensors (Basel)*. 2019; 19 (14): 3072. <https://doi.org/10.3390/s19143072>.
6. Maddox T.M., Januzzi J.L., Larry A. et al. 2021 Update to the 2017 ACC Expert Consensus Decision Pathway for Optimization of Heart Failure Treatment: Answers to 10 Pivotal Issues About Heart Failure With Reduced Ejection Fraction: A Report of the American College of Cardiology Solution Set Oversight Committee. *J. Am. Coll. Cardiol.* 2021; 77 (6): 772–810. <https://doi.org/10.1016/j.jacc.2020.11.022>
7. Trunov V.G., Aidu E.A., Blinova E.V., Sakhnova T.A. Synthesis of McFee–Parungao corrected orthogonal lead system signals from 12 lead electrocardiogram. *Medical Alphabet*. 2017; 1 (14): 16–21. (In Russian)
8. Blinova E.V., Sakhnova T.A., Ryabykina G.V. The use of synthesized vector cardiograms in the diagnosis of right ventricular hypertrophy in patients with pulmonary hypertension. *Manual for practitioners. Medical alphabet*. 2019; 4 (36): 32–46. (In Russian)
9. Jortani SA, Prabhu SD, Valdes R, Jr. Strategies for developing biomarkers of HF. *Clin Chem*. 2004; 50: 265–278. <https://doi.org/10.1373/clinchem.2003.027557>
10. Tereshchenko S.N., Zhirov I.V., Nasonova S.N. et al. Pathophysiology of acute heart failure. What's new? *Russian Journal of Cardiology*. 2016; 9: 52–64. <https://doi.org/10.15829/1560-4071-2016-9-52-64> (In Russian)
11. Sakhnova T.A., Blinova E.V., Yurasova E.S. et al. Features of vectorcardiograms in patients with hypertension complicated by chronic heart failure with reduced left ventricle ejection fraction. *Terapevticheskii arkhiv*. 2022; 94 (9): 1067–1071. <https://doi.org/10.26442/00403660.2022.09.201843>
12. Andersen D.C., Kragholm K., Petersen L.T. et al. Association between vectorcardiographic QRS area and incident heart failure diagnosis and mortality among patients with left bundle branch block: A register-based cohort study. *J. Electrocardiol.* 2021; 69: 30–35. <https://doi.org/10.1016/j.jelecard.2021.09.002>

Prognostically significant parameters of vector electrocardiography in patients with acute decompensation of heart failure with reduced left ventricular ejection fraction

A.K. Vashtanian^{1*}, T.M. Uskach^{1,2}, V.A. Amanatova¹, M.D. Muxinova¹, T.A. Sakhnova¹,
E.V. Blinova¹, E.S. Kozhemyakina¹, S.N. Tereshchenko¹, A.A. Skvortsov¹

¹ National medical research centre of cardiology named after academician E.I. Chazov of the Ministry of Healthcare of the Russian Federation; 15a, Academician Chazov str., Moscow 121552, Russian Federation

² Russian Medical Academy of Continuous Professional Education of the Ministry of Healthcare of the Russian Federation; 2/1-1, Barrikadnaya str., Moscow 125993, Russian Federation

Albert K. Vashtanian – Postgraduate Student of the Department of Myocardial Diseases and Heart Failure of National medical research centre of cardiology named after academician E.I. Chazov of the Ministry of Healthcare of the Russian Federation, Moscow. <https://orcid.org/0009-0009-9581-187X>

Tatiana M. Uskach – Doct. of Sci. (Med.), leading researcher of the Department of myocardial diseases and heart failure National medical research centre of cardiology named after academician E.I. Chazov of the Ministry of Healthcare of the Russian Federation; Professor of the Department of Cardiology, Russian Medical

Academy of Continuous Professional Education of the Ministry of Healthcare of the Russian Federation, Moscow. <https://orcid.org/0009-0009-9581-187X>

Valeria A. Amanatova – Cand. of Sci. (Med.), researcher of the Department of myocardial diseases and heart failure National medical research centre of cardiology named after academician E.I. Chazov of the Ministry of Healthcare of the Russian Federation, Moscow. <https://orcid.org/0009-0009-9581-187X>

Marina D. Muxinova – Cand. of Sci. (Med.), Cardiologist, Department of Myocardial Diseases and Heart Failure, National medical research centre of cardiology named after academician E.I. Chazov of the Ministry of Healthcare of the Russian Federation, Moscow. <https://orcid.org/0009-0009-9581-187X>

Tamara A. Sakhnova – Cand. of Sci. (Med.), Senior Researcher, ECG Laboratory, National medical research centre of cardiology named after academician E.I. Chazov of the Ministry of Healthcare of the Russian Federation, Moscow. <https://orcid.org/0009-0009-9581-187X>

Elena V. Blinova – Cand. of Sci. (Med.), researcher of the ECG Laboratory of National medical research centre of cardiology named after academician E.I. Chazov of the Ministry of Healthcare of the Russian Federation, Moscow. <https://orcid.org/0009-0009-9581-187X>

Elena Sh. Kozhemyakina – programmer of ECG laboratory of National medical research centre of cardiology named after academician E.I. Chazov of the Ministry of Healthcare of the Russian Federation, Moscow. <https://orcid.org/0009-0009-9581-187X>

Sergey N. Tereshchenko – Doct. of Sci. (Med.), Head of the Department of Myocardial Diseases and Heart Failure, National medical research centre of cardiology named after academician E.I. Chazov of the Ministry of Healthcare of the Russian Federation, Moscow. <https://orcid.org/0000-0001-9234-6129>

Andrey A. Skvortsov – Doct. of Sci. (Med.), leading researcher of the Department of myocardial diseases and heart failure of National medical research centre of cardiology named after academician E.I. Chazov of the Ministry of Healthcare of the Russian Federation, Moscow. <https://orcid.org/0000-0003-2712-927X>

Correspondence* to Dr. Albert K. Vashtanian – e-mail: Vashtanian.albert@yandex.ru

Computational vector electrocardiography (vECG) is a method for visualizing the total heart vector output in 3-dimensional mode based on 12 lead and distributed computational procedures. This method can be an additional to assess severity and prognosis in patients with acute decompensated heart failure (ADHF).

Objective: to investigate the vECG parameters associated with poor prognosis in patients with ADHF.

Materials and methods. ECG data of 100 patients with ADHF were analyzed. All patients underwent baseline clinical examination, echocardiography, and a natriuretic peptide (NT-proBNP) test. Mortality was recorded during follow-up for 12 months. The correlation of vECG and NT-proBNP parameters with the prognosis of patients was evaluated.

Results. Due to the period of follow-up, 17 patients died. According to vECG data, the surviving patients had a smaller spatial *QRS-T* angle compared to the deceased patients ($p = 0.039$). Statistically insignificant values ($p = 0.076$) of the planarity index in the group of deceased patients were revealed. ROC-analysis revealed the cut-off value of *QRS-T* spatial angle equal to 164.5° with sensitivity of 53% and specificity of 71%. The *QRS-T* spatial angle values above the cut-off value indicate a higher probability of lethal outcome. The cut-off value of 999.35 pg/ml of NT-proBNP in patients with the value of *QRS-T* angle of 164.5° associated with an unfavorable prognosis was revealed.

Conclusions. vECG can be used as a simple method to predict and assess the risk of fatal outcome in patients with ADHF and reduced left ventricular ejection fraction. The most significant parameter is the value of *QRS-T* spatial angle. An increase in the *QRS-T* spatial angle is associated with an increased risk of fatal outcome. Thus, vECG analysis may be a useful tool for identification of high-risk patients and influence the treatment strategy.

Keywords: acute decompensation of heart failure; brain natriuretic peptide (NT-proBNP); computational vectorelectrocardiography; *QRS-T* spatial angle; planarity index

Conflict of interests. The authors have no conflicts of interest to declare.

Financing. This study had no sponsorship.

Citation: Vashtanian A.K., Uskach T.M., Amanatova V.A., Muxinova M.D., Sakhnova T.A., Blinova E.V., Kozhemyakina E.S., Tereshchenko S.N., Skvortsov A.A. Prognostically significant parameters of vector electrocardiography in patients with acute decompensation of heart failure with reduced left ventricular ejection fraction. *Ultrasound and Functional Diagnostics*. 2024; 3: 34–45. <https://doi.org/10.24835/1607-0771-275> (In Russian)

Ultrasound Obstet Gynecol 2020; 56: 476–484

Published online in Wiley Online Library (wileyonlinelibrary.com). DOI: 10.1002/uog.22145



GUIDELINES

Практические рекомендации ISUOG (обновленные): ультразвуковое исследование центральной нервной системы плода. Часть 1: проведение скринингового исследования и показания к таргетной нейросонографии

Оригинальный текст руководства “ISUOG Practice Guidelines (updated): sonographic examination of the fetal central nervous system. Part 1: performance of screening examination and indications for targeted neurosonography” опубликован в журнале “Ultrasound in Obstetrics & Gynecology” (2020; 56: 476–484) и на сайте <http://www.isuog.org>

Disclaimer. *These guidelines may have been translated, from the originals published by ISUOG, by recognized experts in the field and have been independently verified by reviewers with a relevant first language. Although all reasonable endeavors have been made to ensure that no fundamental meaning has been changed the process of translation may naturally result in small variations in words or terminology and so ISUOG makes no claim that translated guidelines can be considered to be an exact copy of the original and accepts no liability for the consequence of any variations. The guidelines are only officially approved by the ISUOG in their English published form.*

Примечание. Данное руководство является переводом оригинальной версии, опубликованной ISUOG. Перевод был выполнен экспертами в этой области и отредактирован независимыми рецензентами, владеющими соответствующим языком. Несмотря на то что сделано все возможное, чтобы не допустить искажения основного смысла, процесс перевода мог привести к небольшим вариациям смысловых оттенков при использовании некоторых слов или терминов. Таким образом, ISUOG подчеркивает, что переведенное руководство не может рассматриваться как абсолютно точная копия оригинала и не несет ответственности за какие-либо несоответствия, поскольку текст руководства прошел процедуру официального одобрения ISUOG только в его оригинальной печатной версии на английском языке.

Комитет клинических стандартов

Международное общество ультразвуковых исследований в акушерстве и гинекологии (ISUOG) является научной организацией, которая содействует развитию надлежащей клинической практики, обучению специалистов и проведению научных исследований в области диагностической визуализации в сфере здравоохранения женщины. Комитет по клиническим стандартам (ККС) ISUOG создан для разработки практических руководств и совместных заключений в качестве учебных рекомендаций, которые предлагают врачам единый экспертный подход к диагностической визуализации. Они представляют методики и подходы, проанализированные ISUOG и признанные передовой практикой на момент публикации. Несмотря на то что специалистами ISUOG были предприняты максимальные усилия для обеспечения точности текста руководства при его издании, тем не менее ни само Общество, ни кто-либо из его сотрудников или членов не несут юридической ответственности за последствия публикации ККС какой-либо неточной или вводящей в заблуждение информации, методик или утверждений. Документы ККС ISUOG не предназначены для установления правовых стандартов оказания помощи, поскольку на интерпретацию данных, лежащих в основе Рекомендаций, могут влиять индивидуальные обстоятельства, местные протоколы и доступные ресурсы. Допускается свободное распространение утвержденных рекомендаций по разрешению ISUOG (info@isuog.org).

ВВЕДЕНИЕ

Пороки развития центральной нервной системы (ЦНС) являются одними из наиболее распространенных врожденных аномалий. Дефекты нервной трубки относятся к наиболее частым порокам развития ЦНС: от одного до двух случаев на 1000 родов. Частота развития внутричерепных аномалий без повреждения нервной трубки неизвестна, так как большинство таких аномалий, скорее всего, остаются необнаруженными при рождении и проявляются только

в более позднем возрасте. Однако результаты изучения отдаленных результатов показывают, что такие аномалии могут развиваться практически у каждого сотого новорожденного [1].

В течение практически 30 лет ультразвуковые исследования являются основным методом диагностики аномалий ЦНС плода. Цель настоящих Рекомендаций заключается в том, чтобы предложить обзор, анализ и актуализацию методик скринингового обследования головного мозга плода, которое должно проводиться в рамках скрининга II триместра для выявления аномалий, в данном документе именуемого “скрининговым обследованием”. В данном Руководстве также перечислены показания к проведению детального исследования ЦНС плода, которое представляет собой “таргетную нейросонографию плода”, специальное исследование мозга и позвоночника плода, которое требует специальных знаний и сложного ультразвукового оборудования. Данное исследование подробно описано во второй части данных Рекомендаций, в которой мы также обсуждаем показания к проведению магнитно-резонансной томографии (МРТ) головного мозга плода. Подробное описание уровней убедительности рекомендаций и уровней достоверности доказательств, используемых авторами данного документа, приведено в Приложении 1.

ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

Срок беременности

Рекомендации

- Врачи, выполняющие скрининговое обследование на предмет аномалий ЦНС, должны знать, как выглядит ЦНС плода в норме на разных сроках созревания плода (**СТАНДАРТЫ НАДЛЕЖАЩЕЙ КЛИНИЧЕСКОЙ ПРАКТИКИ**).

В течение беременности внешний вид головного мозга и позвоночника плода меняется. Чтобы избежать диагностических ошибок, важно знать, как выглядит ЦНС плода в норме на разных сроках созревания

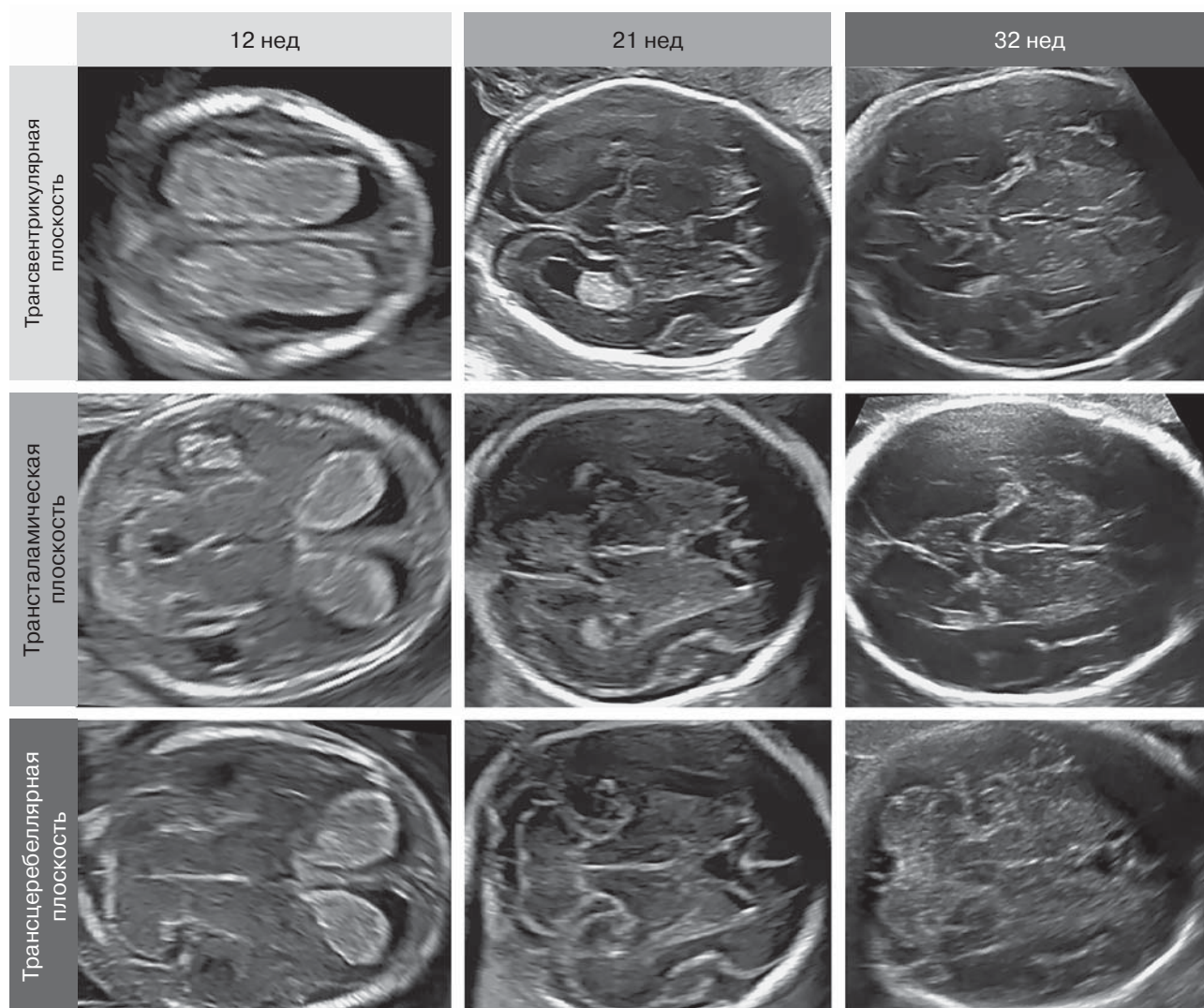


Рис. 1. Нормальные морфологические изменения головного мозга плода на протяжении всего периода созревания, ультразвуковое исследование, визуализация в аксиальных плоскостях: визуализация в трансвентрикулярной, трансталамической и трансцеребеллярной плоскостях на 12, 21 и 32-й неделях беременности. Обратите внимание на значительные структурные изменения боковых желудочков и сосудистого сплетения в период с конца I триместра до середины беременности, а также на появление полости прозрачной перегородки только начиная со II триместра. Тем не менее ширина атриума (преддверия) желудочков остается относительно стабильной во II и III триместрах.

(рис. 1), хотя основные мероприятия по диагностике аномалий ЦНС проводят в середине беременности [2]. Следовательно, эти Рекомендации подлежат применению при проведении скрининга II триместра для выявления аномалий.

Однако в течение последнего десятилетия стало очевидным, что все большее количество аномалий ЦНС и нервной трубки,

в основном дефекты индукции дорсального участка и ромбовидного мозга, можно визуализировать уже в I триместре [3–9]. Хотя их и меньшинство, они обычно серьезны и поэтому заслуживают особого внимания. Обследование ЦНС на ранних этапах требует определенных навыков, всегда следует особенно тщательно осматривать головку и мозг плода на ранних сроках беременности.

Преимущество ранней нейросонографии плода на сроке 12–15 нед заключается в том, что костная ткань еще тонкая и мозг можно исследовать практически со всех сторон, особенно с помощью высокочастотного трансвагинального датчика.

Как правило, исследование ЦНС плода имеет смысл проводить уже в конце I триместра. По мере развития плода визуализация внутричерепных структур затрудняется из-за постепенного окостенения свода черепа.

Технические аспекты

Ультразвуковые датчики

Высокочастотные ультразвуковые датчики позволяют увеличить пространственное разрешение, но при этом ультразвуковой луч проникает на меньшую глубину. На выбор оптимального датчика и рабочей частоты влияет ряд факторов, включая габитус матери, положение плода, срок беременности и применяемый доступ. Большинство скрининговых обследований успешно выполняют с помощью трансабдоминального датчика на 3–5 МГц, хотя также можно использовать и современные широкополосные датчики.

Параметры изображения

Обследование проводят с использованием двухмерного ультразвукового исследования в серошкальном режиме. Использование методик гармонической и поперечной визуализации, а также фильтров для уменьшения зернистости помогает улучшить качество изображения тонких анатомических деталей и при скрининге пациентов, обследование которых затруднено, например, в связи с повышенным индексом массы тела или наличием рубцов на животе.

СКРИНИНГОВОЕ ОБСЛЕДОВАНИЕ ГОЛОВНОГО МОЗГА ПЛОДА ПОСЛЕ 18 НЕД

Качественная оценка

Рекомендации

- Трансабдоминальная эхография – это метод выбора для скринингового обследования

Таблица 1. Структуры, которые обычно отмечают при ультразвуковом скрининге ЦНС плода

- Форма головки
- Боковые желудочки
- Полость прозрачной перегородки
- Таламус
- Мозжечок
- Большая цистерна мозга
- Позвоночный столб

ния ЦНС плода в рамках скрининга II триместра при беременности с низким риском. Это обследование должно включать оценку головы и позвоночника плода (**СТАНДАРТЫ НАДЛЕЖАЩЕЙ КЛИНИЧЕСКОЙ ПРАКТИКИ**).

Скрининговое обследование ЦНС плода в рамках сканирования во II триместре при беременности с низким уровнем риска должно включать оценку головы плода и позвоночного столба с использованием трансабдоминальной эхографии. Осмотр в двух осевых плоскостях позволяет визуализировать соответствующие краниальные структуры для оценки анатомической целостности мозга плода [10]. Эти плоскости обычно называют трансвентрикулярной (рис. 2а) и транскеребеллярной (рис. 2б) плоскостями.

Зачастую осмотр проводят еще и в третьей, трансталамической, плоскости (рис. 2с), чтобы выполнить биометрию. Структуры, которые следует проверить при рутинном осмотре, включают боковые желудочки, мозжечок и большую цистерну, а также полость прозрачной перегородки (ППП). В этих проекциях также следует оценить форму головы и паренхимы головного мозга (табл. 1).

Трансвентрикулярная плоскость (рис. 2а)

Рекомендация

- В трансвентрикулярной плоскости следует оценить и описать участок атриума, расположенный дистально от датчика и наличие ППП (**СТАНДАРТЫ НАДЛЕЖАЩЕЙ КЛИНИЧЕСКОЙ ПРАКТИКИ**).

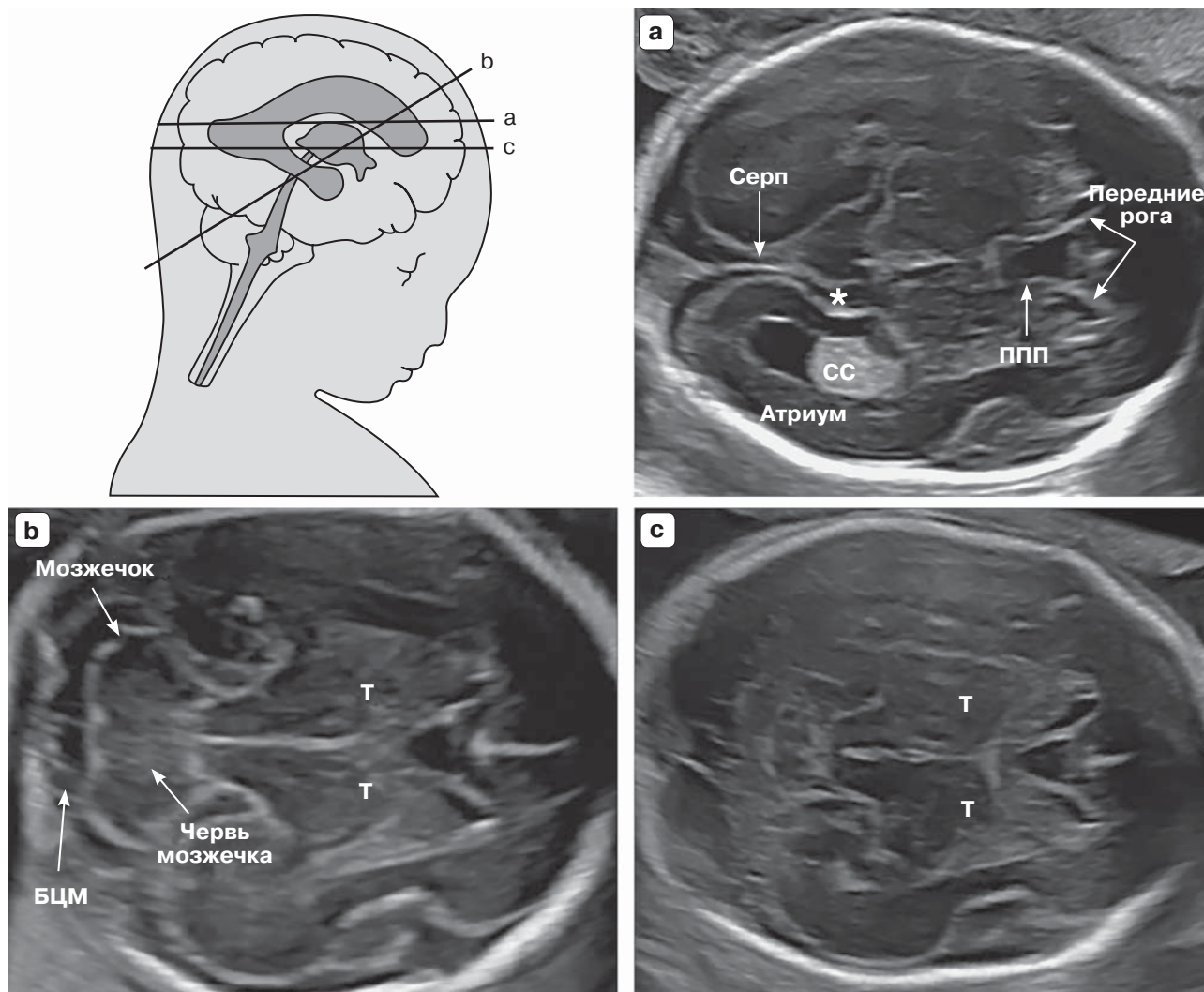


Рис. 2. Скрининговое обследование центральной нервной системы плода (нормальный плод, 21-я неделя) в трех взаимно перпендикулярных плоскостях. (а) Трансвентрикулярная плоскость: видны передняя и задняя части боковых желудочков. Передние рога в форме запятых разделены по центру полостью прозрачной перегородки (ППП). Также видны атриум и задний рог желудочка дистально от датчика, а также сосудистое сплетение (СС) в качестве анатомического ориентира для измерения ширины атриума и теменно-затылочной борозды (*). (б) Трансцеребеллярная плоскость: датчик наклонен кзади для визуализации структур средней и задней ямок: таламус (Т), полушария мозжечка и червь мозжечка, представленные в форме бабочки, и анэхогенное ретроцеребеллярное пространство, соответствует большой цистерне мозга (БЦМ). (с) Трансталамическую плоскость часто используют для проведения биометрии головки плода (бипариетальный диаметр, лобно-затылочное расстояние и окружность головки), она находится ниже и параллельно трансвентрикулярной плоскости. В этой плоскости также визуализируются серп, передние рога боковых желудочков и ППП, а также таламус (Т) и извилины гиппокампа с обеих сторон. На линейной диаграмме (вверху слева) показаны положения осевых плоскостей.

В трансвентрикулярной плоскости визуализируются передняя и задняя части боковых желудочков. Передняя часть (лобные или передние рога) выглядит как две заполненные жидкостью структуры в форме запятой.

Они имеют четко выраженную боковую стенку и по середине ППП. ППП – это заполненная жидкостью полость, расположенная между двумя тонкими мембранами. На поздних сроках беременности или в раннем неонатальном периоде эти мембраны обычно сливаются, образуя прозрачную перегородку. ППП начинает визуализироваться на сроке от 17-й до 20-й недели беременности и быстро исчезает. При трансабдоминальном ультразвуковом исследовании этот процесс в норме наблюдается в период с 17–20-й и по 37-ю неделю беременности или при бипариетальном диаметре (БПД) 44–88 мм [11]. Невозможность визуализировать ППП на сроке до 16 нед или после 37-й недели является нормой; в редких случаях отсутствие жидкости в ППП наблюдается у абсолютно нормального плода [12]. Визуализация ППП на сроке между 17-й и 37-й неделями беременности имеет большое значение, поскольку невозможность ее визуализации или ее внешние аномалии могут свидетельствовать о наличии комиссуральных аномалий, которые являются косвенным признаком агенезии мозолистого тела на снимках (обычно в сочетании с каплевидной формой боковых желудочков, известной как колькоцефалия [13]). Невозможность визуализации прозрачных перегородок очень подозрительна и может указывать на наличие ряда серьезных пороков развития головного мозга, таких как голопрозэнцефалия, тяжелая гидроцефалия и септооптическая дисплазия [14]. В недавних публикациях аномальная форма ППП была определена как относительно надежный маркер частичной агенезии мозолистого тела [15, 16].

Примерно с 16-й недели задняя часть боковых желудочков (также называемая задними рогами) представляет собой комплекс, образованный атриумом, который простирается кзади и переходит в задний рог. Атриум характеризуется наличием

сосудистого сплетения, который имеет высокую эхогенность, тогда как задний рог заполнен спинномозговой жидкостью. Так, во II триместре беременности как медиальная, так и боковая стенки желудочка параллельны средней линии и, следовательно, хорошо визуализируются при ультразвуковом исследовании в виде четко разграниченных эхогенных линий. В нормальных условиях сосудистое сплетение полностью заполняет полость желудочка на уровне атриума, находясь в тесном контакте с медиальной и латеральной стенками, хотя в некоторых случаях между медиальной стенкой и сосудистым сплетением может присутствовать небольшое количество жидкости, что также является нормой [17–20].

Следует отметить, что из-за артефактов в ближнем поле изображения, вызванных затемнением проксимальной теменной кости в стандартной трансвентрикулярной плоскости, обычно четко визуализируются только полушарие и боковой желудочек на дальней стороне от датчика. Однако наиболее тяжелые пороки развития мозга являются двусторонними или связаны со значительным отклонением или искажением срединного эхосигнала; предполагается, что при скрининговых обследованиях можно допустить, что полушарие, расположенное ближе к датчику, симметрично другому полушарию.

Трансцеребеллярная плоскость (рис. 2b)

Рекомендации

- В трансцеребеллярной плоскости следует оценить и описать наличие и форму мозжечка, а также наличие спинномозговой жидкости в большой цистерне головного мозга (**СТАНДАРТЫ НАДЛЕЖАЩЕЙ КЛИНИЧЕСКОЙ ПРАКТИКИ**).

Трансцеребеллярная плоскость расположена ближе к нижней части трансвентрикулярной плоскости, получить ее изображение можно с помощью незначительного наклона датчика кзади для визуализации таламуса, мозжечка и большой цистерны

мозга. Мозжечок представляет собой структуру в форме бабочки, образованную круглыми полушариями мозжечка, соединенными посередине червем мозжечка, которому присуща несколько более высокая эхогенность. Большая цистерна, или церебеллярно-медуллярная цистерна, представляет собой заполненное жидкостью пространство позади мозжечка. Обычно она содержит тонкие перегородки, которые, как правило, не видны при наличии патологии [21]. Во второй половине беременности переднезадний диаметр большой цистерны остается стабильным и не должен превышать 10 мм [10]. До 19–20 нед беременности червь мозжечка еще не полностью покрывает IV желудочек, и этот необычный вид может создать ложное впечатление о наличии дефекта червя. Как показывает практика, к 19-й неделе беременности между двумя полушариями мозжечка не должно быть пространства, заполненного жидкостью по средней линии. Если же такое пространство обнаруживается, явление, именуемое “признаком замочной скважины”, может указывать на аномалию червя мозжечка и является показанием к проведению нейросонографии [22]. Следует проявлять осторожность, чтобы избежать “чрезмерного наклона” датчика, так как это увеличит вероятность постановки ложноположительного диагноза “аномалия червя”.

Трансталамическая плоскость (рис. 2с)

Обычно именуемая трансталамической плоскостью или плоскостью БПД третья плоскость визуализации, расположенная параллельно, но ниже трансвентрикулярной плоскости, также часто используется при ультразвуковом исследовании головного мозга плода. Анатомические ориентиры включают от передней части к задней, передние рога боковых желудочков, ППП, таламусы и извилины гиппокампа [23]. Эту плоскость используют для проведения биометрии головы плода. Ее легче идентифицировать на поздних сроках беременности, а выполненные в ней измерения более воспроизводимы, чем измерения в трансвентрикулярной плоскости [24].

Позвоночный столб плода

Рекомендация

- При наличии технической возможности следует получить изображение позвоночного столба плода в продольном сечении, чтобы проверить наличие открытого и закрытого спинального дисрафизма (**СТАНДАРТЫ НАДЛЕЖАЩЕЙ КЛИНИЧЕСКОЙ ПРАКТИКИ**)

Техническая рекомендация

- Практически в 97% случаев открытая расщелина позвоночника проявляется в виде так называемого признака банана, который возникает из-за порока Киари-II [25] (**УРОВЕНЬ УБЕДИТЕЛЬНОСТИ РЕКОМЕНДАЦИЙ: С**).

Детальное обследование позвоночного столба плода требует опыта и тщательного изучения, а его результаты во многом зависят от положения плода. Поэтому полное и детальное обследование позвоночного столба плода в каждой плоскости не входит в объем скринингового обследования.

Одна из наиболее часто встречающихся серьезных аномалий позвоночника, открытая расщелина позвоночника, обычно связана с аномальным внутричерепным строением: практически в 97% случаев имеет место так называемый признак банана, который возникает из-за порока Киари-II [25]. Тем не менее следует попробовать осмотреть позвоночный столб плода в продольном сечении [4], при наличии технической возможности, поскольку таким образом можно выявить, по крайней мере, в некоторых случаях, другие пороки развития позвоночника, в том числе позвоночные аномалии и агенезию крестца, хотя этот порок развития сложно диагностировать даже специалистам ввиду физиологического отсутствия окостенения нижнего поясничного отдела позвоночного столба в начале II триместра беременности [26]. В норме в сагиттальном разрезе позвоночного столба на 18–24-й неделе беременности визуализируются три центра окостенения позвонков (один внутри тела и по одному с каждой стороны на стыке между пластиной и ножкой), которые окружают нерв-



Рис. 3. Сакральная проекция нижнегрудного, поясничного и крестцового отделов позвоночного столба плода. Используя неокостеневший остистый отросток позвонков в качестве акустического окна, просматривают содержимое спинномозгового канала. Медуллярный конус четко визуализируется и обычно располагается на уровне L2 в середине беременности. Его острый конец должен указывать вперед, к телу позвонка, с жидкостью, заполняющей спинной мозг сзади. Обратите внимание на состояние кожных покровов (без повреждений) на гиперэхогенной линии вдоль спинки плода.

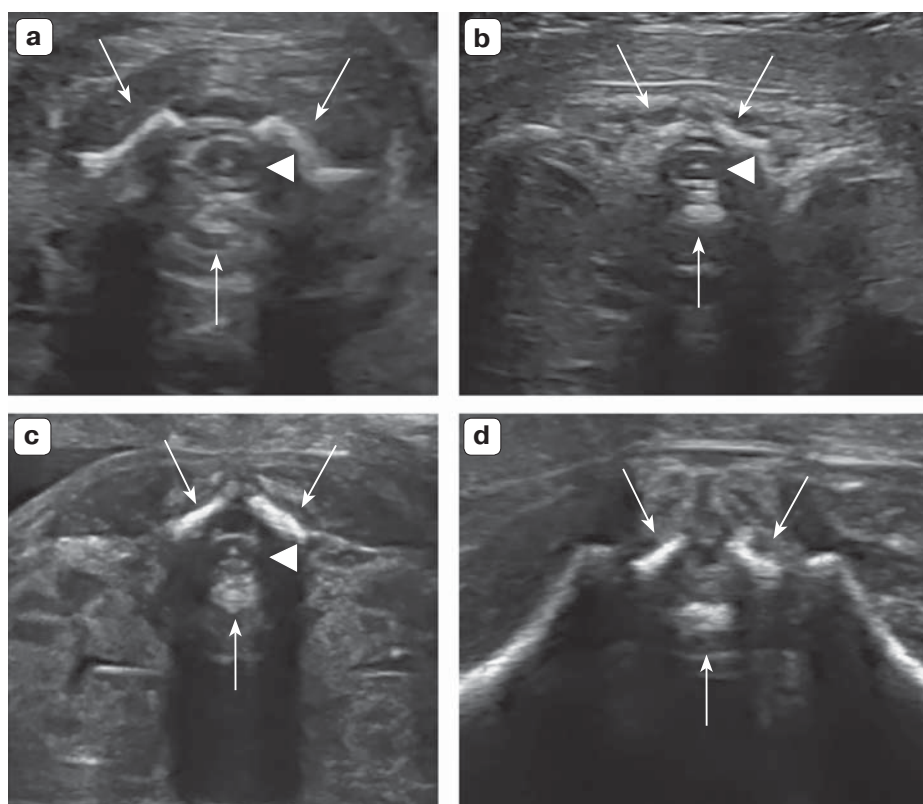


Рис. 4. Аксиальная проекция позвоночного столба плода в разных отделах: (а) шейный, (b) грудной, (с) поясничный и (d) крестцовый. Стрелками отмечены три центра окостенения позвонков, а кончики стрелок указывают на спинной мозг, который визуализируется в шейном, грудном и поясничном отделах. Гиперэхогенная точка находится на центральном канале мозгового вещества. На уровне крестца (d) наблюдаются только волокна конского хвоста. Отметить тонкую полоску жидкости за спинным мозгом во всех отделах и неповрежденную кожу позвоночного столба.

ный канал и выглядят как две или три параллельные линии в зависимости от направления ультразвукового луча (рис. 3). Три ядра окостенения лучше всего визуализируются в аксиальной проекции отдельных позвонков (рис. 4). Кроме того, следует проверить целостность кожных покровов, покрывающих позвоночный столб, либо в поперечной, либо в продольной проекции.

Количественная оценка

Рекомендация

- Выполнение следующих измерений представляет собой неотъемлемую часть ультразвукового скрининга пороков развития ЦНС: ширина атриума и поперечный диаметр мозжечка. Дополнительные измерения, обычно выполняемые в рамках общей биометрии (БПД и окружность головки (ОГ)), также входят в объем исследования, поскольку в некоторых случаях помогают выявить аномалии пролиферации (например, микроцефалию или макроцефалию) (**СТАНДАРТЫ НАДЛЕЖАЩЕЙ КЛИНИЧЕСКОЙ ПРАКТИКИ**).

Техническая рекомендация

- Ширину атриума следует измерять по внутренней части, она должна составлять <10 мм на протяжении всей беременности (**УРОВЕНЬ УБЕДИТЕЛЬНОСТИ РЕКОМЕНДАЦИЙ: С**).

Биометрия является неотъемлемой частью ультразвукового исследования головы плода. Стандартный скрининг на предмет аномалий во II триместре включает измерение БПД, ОГ, внутреннего диаметра атриума и поперечного диаметра мозжечка. Глубину большой цистерны следует измерять, если при качественной оценке задней черепной ямки обнаруживается, что эта структура визуально тоньше или шире, чем обычно.

БПД и ОГ обычно используют для оценки срока беременности и роста плода, а также выявления некоторых церебральных аномалий. Их можно измерить либо в транскраникулярной плоскости, либо в трансталамической плоскости. Существуют различные методики измерения БПД. Чаще всего

калипер размещают за пределами свода черепа плода (так называемое от наружного к наружному измерение) [24]. При этом некоторые часто используемые референсные нормограммы были созданы с использованием метода измерения “от наружного к внутреннему”, чтобы избежать артефактов, генерируемых эхосигналом от костей черепа на дистальном участке, что не так свойственно современным датчикам, как это было несколько лет назад [23]. Измерения, полученные с помощью разных методик, отличаются на несколько миллиметров, что может иметь клиническое значение на ранних сроках беременности. Поэтому важно знать, какая методика использовалась для построения используемых референсных нормограмм. ОГ можно измерить напрямую по методу эллипса, разместив эллипс вокруг внешнего контура костей черепа. Или ОГ можно рассчитать после измерения БПД и лобно-затылочного диаметра (ЛЗД) по формуле: $ОГ = 1,62 \times (БПД + ЛЗД)$. Соотношение БПД/ЛЗД обычно составляет 70–85%. Однако зачастую, особенно на ранних сроках беременности, наблюдается некоторая приплюснутость головки плода, и у плода при тазовом предлежании может наблюдаться некоторая степень долихоцефалии. Нецелесообразно использовать нормограммы ОГ, предназначенные для оценки массы тела плода, если целью измерения является исключение микроцефалии.

Рекомендуется выполнить измерения атриума, поскольку результаты ряда исследований демонстрируют, что это наиболее эффективный подход для оценки целостности желудочковой системы [18], а вентрикуломегалия является частым маркером аномального развития мозга. Измерение выполняют на уровне сосудистого сплетения, перпендикулярно полости желудочка, при этом калипер располагают внутри эхосигналов, создаваемых боковыми стенками (рис. 5). Этот параметр остается стабильным во II и начале III триместра; средний диаметр составляет от 6 до 8 мм [18, 27]; считается нормальным, если <10 мм [27–31]. Хотя это пороговое значение было определено несколько лет назад, оно остается

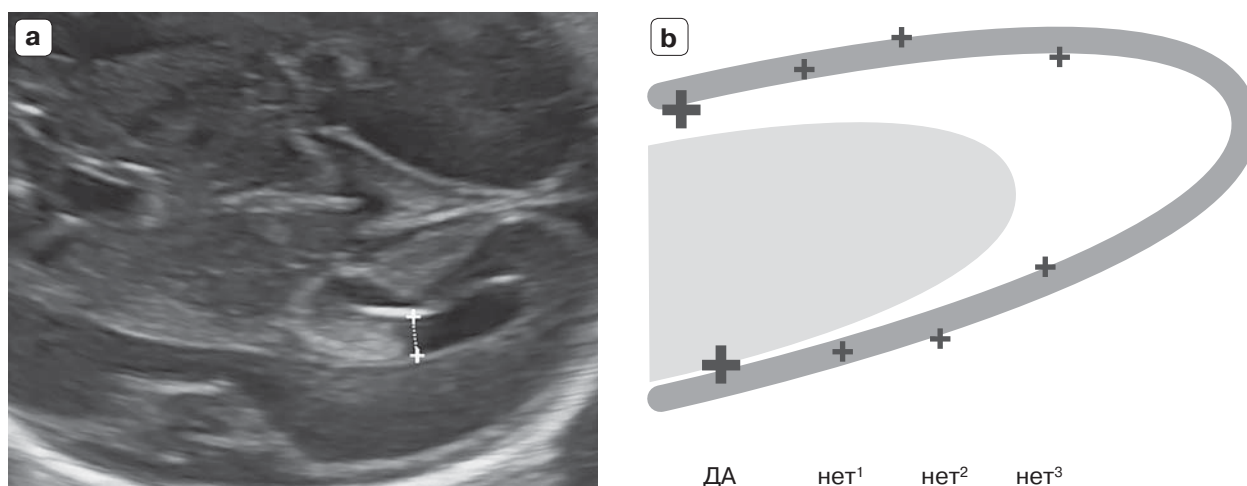


Рис. 5. (а) Измерение ширины атриумов боковых желудочков. Калиперы расположены на уровне сосудистого сплетения, внутри эхосигналов, генерируемых стенками желудочков. **(б)** Схема показывает правильное размещение калиперов для измерения желудочков. Калиперы размещены правильно, если касаются внутреннего края стенки желудочка в самой широкой части и выровнены перпендикулярно длинной оси желудочка (ДА). Неправильное размещение: средне-среднее (нет¹), наружно-внешнее (нет²), слишком смещено кзади в более узкой части желудочка или не перпендикулярно оси желудочка (нет³).

верным, особенно для II триместра, несмотря на появление более современного оборудования. Следовательно, ширина атриума ≥ 10 мм считается подозрительной. Тут следует отметить, что: 1) ширина атриума может изменяться во время беременности, увеличиваясь или уменьшаясь, и 2) умеренная асимметрия сторон атриумов считается нормальной, если оба атриума < 10 мм [32, 33].

Поперечный диаметр мозжечка увеличивается примерно на 1 мм в неделю беременности на сроке с 14-й до 21-й недели беременности. Этот параметр, вместе с ОГ и БПД, полезен для оценки роста плода. В случаях, когда необходимо измерить переднезадний диаметр большой цистерны (если возникает субъективное ощущение, что большая цистерна выглядит аномально), калиперы следует располагать в правильной трансцерепеллярной плоскости между внешним краем самой дорсальной точки червя мозжечка и внутренней стороной затылочной кости. Нормальный размер составляет 2–10 мм [34]. При долихоцефалии этот параметр может несколько превышать 10 мм.

Если во II триместре беременности у плодов пациенток группы низкого риска транс-

вентрикулярная и трансцерепеллярная плоскости выглядят типично, параметры головы плода (в частности, ОГ) в пределах нормы для гестационного возраста, ширина атриума < 10 мм и ширина большой цистерны от 2 до 10 мм, то исключаются многие пороки развития головного мозга, риск аномалии ЦНС, которая может быть диагностирована на этом сроке беременности, чрезвычайно низок, и дальнейшие исследования не показаны [10].

СКРИНИНГОВОЕ ОБСЛЕДОВАНИЕ ГОЛОВНОГО МОЗГА ПЛОДА ДО 18 НЕД

Рекомендация

- Если скрининговое ультразвуковое исследование проводят на сроке до 18 нед беременности, следует оценить и описать трансвентрикулярную и трансцерепеллярную плоскости (**СТАНДАРТЫ НАДЛЕЖАЩЕЙ КЛИНИЧЕСКОЙ ПРАКТИКИ**).

Ультразвуковое исследование плода все чаще проводится в последние несколько недель I триместра и в начале II триместра [4, 8]. Оценка головного мозга входит в объ-

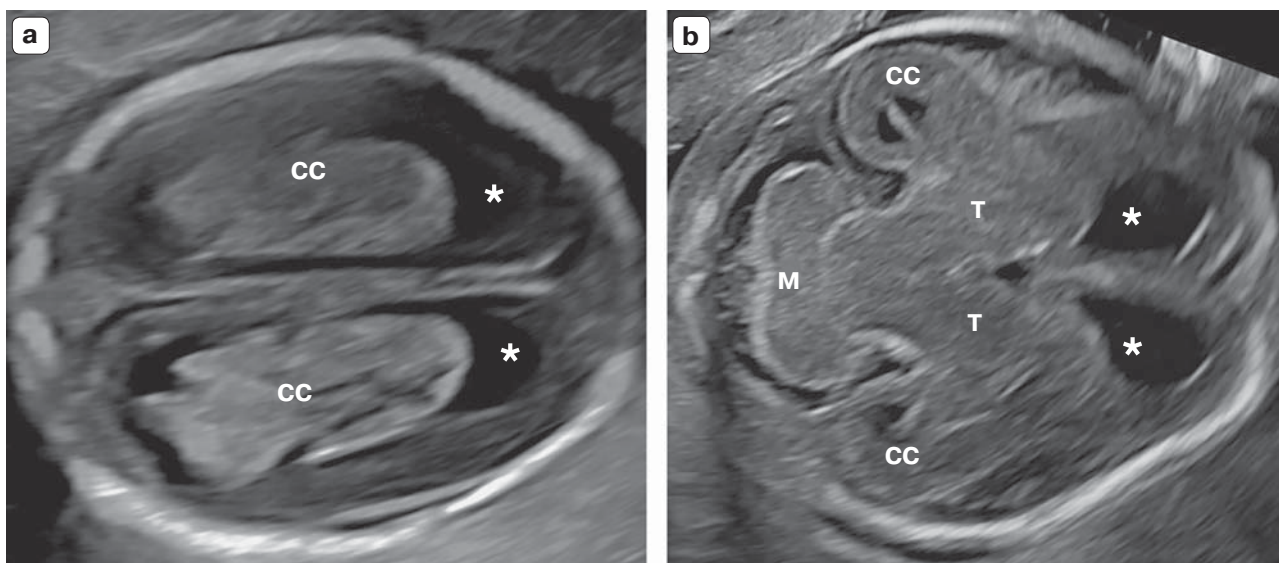


Рис. 6. Трансвентрикулярная (а) и трансцеребеллярная (б) плоскости головного мозга плода в 16 нед. (а) В трансвентрикулярной плоскости визуализируются крупные боковые желудочки в сравнении с окружающей тонкой паренхимой головного мозга. Лобные рога (*) круглые, заполнены спинномозговой жидкостью. Сосудистые сплетения (СС) заполняют тело, атриумы, затылочные и височные рога боковых желудочков и могут иметь неровные внешние границы. (б) В трансцеребеллярной плоскости в начале II триместра мозжечок (М) имеет форму гантели, визуализируется верхняя часть червя, изоэхогенная по отношению к полушариям (тогда как на более поздних сроках беременности его эхогенность повышается). Визуализируются передние рога (*), таламус (Т), часть задних рогов боковых желудочков и сосудистые сплетения (СС).

ем исследований, а вот клинические рекомендации по его обследованию отсутствуют. По нашему мнению, каждое исследование головного мозга плода должно включать, как минимум, визуализацию трансвентрикулярной и трансцеребеллярной плоскостей (рис. 6). Ввиду быстрых и динамичных изменений при развитии головного мозга, которые происходят как во время беременности, так и после родов, пациентку следует информировать не только о технических ограничениях этих обследований, но и о тех, которые связаны с проблемами сроков.

ПОКАЗАНИЯ К ТАРГЕТНОЙ НЕЙРОСОНОГРАФИИ ПЛОДА

Рекомендация

- Если при проведении ультразвукового обследования возникает подозрение на патологию головного или спинного мозга,

в целях диагностики следует выполнить таргетную нейросонографию плода (**СТАНДАРТЫ НАДЛЕЖАЩЕЙ КЛИНИЧЕСКОЙ ПРАКТИКИ**).

Таргетная нейросонография плода – это специализированное многоплоскостное диагностическое обследование, которое проводят при наличии высоких рисков или подозрения на пороки развития ЦНС или позвоночника плода. Показания к проведению данной процедуры приведены в табл. 2. По аналогии с эхокардиографией плода при подозрении на врожденный порок сердца нейросонография имеет гораздо больший диагностический потенциал, чем скрининговое трансабдоминальное ультразвуковое исследование, и особенно показана при оценке сложных пороков развития. Следует отметить, что это обследование требует высокого уровня знаний и опыта проведения исследований как с помощью трансабдоминального, так и с использованием трансва-

Таблица 2. Показания к таргетной нейросонографии плода

- Подозрение на аномалию ЦНС или позвоночника при рутинном ультразвуковом обследовании
- Подозрение на аномалию ЦНС или позвоночника при осмотре воротникового пространства
- Семейный анамнез наследственных пороков развития ЦНС или позвоночника
- Предыдущая беременность, осложненная пороком развития головного или спинного мозга плода
- Плод с врожденным пороком сердца
- Монозиготная двойня
- Подозрение на врожденную внутриутробную инфекцию
- Воздействие тератогенов, влияющих на нейрогенез
- Результаты хромосомного микроматричного анализа неустановленной значимости

гинального доступа, а также трехмерных ультразвуковых исследований, которые до сих пор не проводятся во многих странах мира. В дополнение к плоскостям, используемым при скрининговом обследовании, нейросонография включает исследование во фронтальной и сагиттальной проекциях. Подробная информация, касающаяся технических и практических аспектов прицельной нейросонографии плода, приведена в Части 2 настоящих Рекомендаций.

ПОКАЗАНИЯ К МРТ ГОЛОВНОГО МОЗГА ПЛОДА

Рекомендация

• МРТ головного мозга плода назначают на основании заключения специалиста, проводящего таргетное нейросонографическое исследование.

Нецелесообразно проводить МРТ только на основании подозрения на аномалию головного мозга, выявленного при скрининговом ультразвуковом исследовании (**СТАНДАРТЫ НАДЛЕЖАЩЕЙ КЛИНИЧЕСКОЙ ПРАКТИКИ**).

Использование МРТ для оценки головного мозга плода является новым важным диагностическим инструментом, который способствует изучению аномалий головного мозга и совершенствует их диагностику

[35, 36]. Недавно были опубликованы рекомендации ISUOG по проведению МРТ плода и составлению заключений, в которых представлена важная информация об этой методике [37]. При этом обязательным является строгое соблюдение стандартных протоколов назначения диагностических исследований и исключение направления на МРТ головного мозга плода непосредственно специалистом, проводившим скрининговое обследование или сканирование, которое позволяет получить чуть больше информации, чем скрининг [38, 39]. Нарушение протокола назначения диагностической процедуры привело как к ложновысокому уровню клинически значимых пороков развития, выявляемых только с помощью МРТ (и публикуемому как таковые), так и к экспоненциальному росту запросов на проведение МРТ головного мозга плода при сомнительных результатах ультразвукового исследования. Когда результаты этих публикаций тщательно проанализировали, оказалось, что на практике клиническая польза МРТ плода с подозрением на аномалию ЦНС намного ниже [40, 41]. Кроме того, недавно был поднят вопрос о высокой частоте ложноположительных результатов МРТ [42]. Поэтому важно, чтобы МРТ головного мозга плода проводилось только после нейросонографического исследования и в дополнение к нему и только по показаниям специалиста.

АВТОРЫ ПРАКТИЧЕСКИХ РЕКОМЕНДАЦИЙ

This Guideline was produced on behalf of the International Society of Ultrasound in Obstetrics and Gynecology (ISUOG) by the following authors, and peer reviewed by the Clinical Standards Committee.

G. Malinger, Division of Ultrasound in Obstetrics and Gynecology, Lis Maternity Hospital, Tel Aviv Sourasky Medical Center, Sackler School of Medicine, Tel Aviv University, Tel Aviv, Israel

D. Paladini, Fetal Medicine and Surgery Unit, Istituto G. Gaslini, Genoa, Italy

K.K. Haratz, Division of Ultrasound in Obstetrics and Gynecology, Lis Maternity Hospital, Tel Aviv Sourasky Medical Center, Sackler School of Medicine, Tel Aviv University, Tel Aviv, Israel

A. Monteagudo, Carnegie Imaging for Women, Obstetrics, Gynecology and Reproductive Science, Icahn School of Medicine at Mount Sinai, New York, NY, USA

G. Pilu, Obstetric Unit, Department of Medical and Surgical Sciences, University of Bologna, Bologna, Italy

I.E. Timor-Tritsch, Division of Obstetrical and Gynecological Ultrasound, NYU School of Medicine, New York, NY, USA

ЦИТИРОВАНИЕ

This Guideline should be cited as: 'Maligner G, Paladini D, Haratz KK, Monteagudo A, Pilu G, Timor-Tritsch IE. ISUOG Practice Guidelines (updated): sonographic examination of the fetal central nervous system. Part 1: performance of screening examination and indications for targeted neurosonography. *Ultrasound Obstet Gynecol* 2020; 56: 476–484.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Myrianthopoulos NC. Epidemiology of central nervous system malformations. In Handbook of Clinical Neurology, Vinken PJ, Bruyn GW (eds). Elsevier: Amsterdam, 1977; 139–171.
2. Salomon LJ, Alfievic Z, Berghella V, Bilardo C, Hernandez-Andrade E, Johnsen SL, Kalache K, Leung KY, Malinger G, Munoz H, Prefumo F, Toi A, Lee W, Committee ICS. Practice guidelines for performance of the routine mid-trimester fetal ultrasound scan. *Ultrasound Obstet Gynecol* 2011; 37: 116–126.
3. Timor-Tritsch IE, Rottem S. Transvaginal Sonography. Elsevier: New York, 1988.
4. Rottem S, Bronshtein M, Thaler I, Brandes JM. First trimester transvaginal sonographic diagnosis of fetal anomalies. *Lancet* 1989; 1: 444–445.
5. Johnson SP, Sebire NJ, Snijders RJ, Tunkel S, Nicolaides KH. Ultrasound screening for anencephaly at 10–14 weeks of gestation. *Ultrasound Obstet Gynecol* 1997; 9: 14–16.
6. Ghi T, Pilu G, Savelli L, Segata M, Bovicelli L. Sonographic diagnosis of congenital anomalies during the first trimester. *Placenta* 2003; 24 (Suppl B): S84–87.
7. Monteagudo A, Timor-Tritsch IE. Normal sonographic development of the central nervous system from the second trimester onwards using 2D, 3D and transvaginal sonography. *Prenat Diagn* 2009; 29: 326–339.
8. Chaoui R, Nicolaides KH. Detecting open spina bifida at the 11–13-week scan by assessing intracranial translucency and the posterior brain region: mid-sagittal or axial plane? *Ultrasound Obstet Gynecol* 2011; 38: 609–612.
9. D'Antonio F, Familiari A, Thilaganathan B, Papageorgiou AT, Manzoli L, Khalil A, Bhide A. Sensitivity of first-trimester ultrasound in the detection of congenital anomalies in twin pregnancies: population study and systematic review. *Acta Obstet Gynecol Scand* 2016; 95: 1359–1367.
10. Filly RA, Cardoza JD, Goldstein RB, Barkovich AJ. Detection of fetal central nervous system anomalies: a practical level of effort for a routine sonogram. *Radiology* 1989; 172: 403–408.
11. Falco P, Gabrielli S, Visentin A, Perolo A, Pilu G, Bovicelli L. Transabdominal sonography of the cavum septum pellucidum in normal fetuses in the second and third trimesters of pregnancy. *Ultrasound Obstet Gynecol* 2000; 16: 549–553.
12. Malinger G, Lev D, Oren M, Lerman-Sagie T. Non-visualization of the cavum septi pellucidi is not synonymous with agenesis of the corpus callosum. *Ultrasound Obstet Gynecol* 2012; 40: 165–170.
13. Paladini D, Pastore G, Cavallaro A, Massaro M, Nappi C. Agenesis of the fetal corpus callosum: sonographic signs change with advancing gestational age. *Ultrasound Obstet Gynecol* 2013; 42: 687–690.
14. Malinger G, Lev D, Kidron D, Heredia F, HersHKovitz R, Lerman-Sagie T. Differential diagnosis in fetuses with absent septum pellucidum. *Ultrasound Obstet Gynecol* 2005; 25: 42–49.
15. Shen O, Gelot AB, Moutard ML, Jouannic JM, Sela HY, Garel C. Abnormal shape of the cavum septi pellucidi: an indirect sign of partial agenesis of the corpus callosum. *Ultrasound Obstet Gynecol* 2015; 46: 595–599.

16. Karl K, Esser T, Heling KS, Chaoui R. Cavum septi pellucidi (CSP) ratio: a marker for partial agenesis of the fetal corpus callosum. *Ultrasound Obstet Gynecol* 2017; 50: 336–341.
17. Cardoza JD, Filly RA, Podrasky AE. The dangling choroid plexus: a sonographic observation of value in excluding ventriculomegaly. *AJR Am J Roentgenol* 1988; 151: 767–770.
18. Cardoza JD, Goldstein RB, Filly RA. Exclusion of fetal ventriculomegaly with a single measurement: the width of the lateral ventricular atrium. *Radiology* 1988; 169: 711–714.
19. Mahony BS, Nyberg DA, Hirsch JH, Petty CN, Hendricks SK, Mack LA. Mild idiopathic lateral cerebral ventricular dilatation in utero: sonographic evaluation. *Radiology* 1988; 169: 715–721.
20. Pilu G, Reece EA, Goldstein I, Hobbins JC, Bovicelli L. Sonographic evaluation of the normal developmental anatomy of the fetal cerebral ventricles: II. The atria. *Obstet Gynecol* 1989; 73: 250–256.
21. Pretorius DH, Kallman CE, Grafe MR, Budorick NE, Stamm ER. Linear echoes in the fetal cisterna magna. *J Ultrasound Med* 1992; 11: 125–128.
22. Bromley B, Nadel AS, Pauker S, Estroff JA, Benacerraf BR. Closure of the cerebellar vermis: evaluation with second trimester US. *Radiology* 1994; 193: 761–763.
23. Shepard M, Filly RA. A standardized plane for biparietal diameter measurement. *J Ultrasound Med* 1982; 1: 145–150.
24. Snijders RJ, Nicolaides KH. Fetal biometry at 14–40 weeks' gestation. *Ultrasound Obstet Gynecol* 1994; 4: 34–48.
25. Bahlmann F, Reinhard I, Schramm T, Geipel A, Gembruch U, von Kaisenberg CS, Schmitz R, Stupin J, Chaoui R, Karl K, Kalache K, Paschingbauer F, Ponnath M, Rempfen A, Kozłowski P. Cranial and cerebral signs in the diagnosis of spina bifida between 18 and 22 weeks of gestation: a German multicentre study. *Prenat Diagn* 2015; 35: 228–235.
26. Jian N, Lin N, Tian MM, Zhang S, Li G, Zhao H, Xiao LX, Liang WJ, Lin XT. Normal development of costal element ossification centers of sacral vertebrae in the fetal spine: a postmortem magnetic resonance imaging study. *Neuroradiology* 2019; 61: 183–193.
27. Pilu G, Falco P, Gabrielli S, Perolo A, Sandri F, Bovicelli L. The clinical significance of fetal isolated cerebral borderline ventriculomegaly: report of 31 cases and review of the literature. *Ultrasound Obstet Gynecol* 1999; 14: 320–326.
28. Gaglioti P, Danelon D, Bontempo S, Mombro M, Cardaropoli S, Todros T. Fetal cerebral ventriculomegaly: outcome in 176 cases. *Ultrasound Obstet Gynecol* 2005; 25: 372–377.
29. Pagani G, Thilaganathan B, Prefumo F. Neurodevelopmental outcome in isolated mild fetal ventriculomegaly: systematic review and meta-analysis. *Ultrasound Obstet Gynecol* 2014; 44: 254–260.
30. Mehlhorn AJ, Morin CE, Wong-You-Cheong JJ, Contag SA. Mild fetal cerebral ventriculomegaly: prevalence, characteristics, and utility of ancillary testing in cases presenting to a tertiary referral center. *Prenat Diagn* 2017; 37: 647–657.
31. Scelsa B, Rustico M, Righini A, Parazzini C, Balestrieri MA, Introvini P, Spaccini L, Mastrangelo M, Lista G, Zuccotti GV, Veggiotti P. Mild ventriculomegaly from fetal consultation to neurodevelopmental assessment: A single center experience and review of the literature. *Eur J Paediatr Neurol* 2018; 22: 919–928.
32. Atad-Rapoport M, Schweiger A, Lev D, Sadan-Strul S, Malinger G, Lerman-Sagie T. Neuropsychological follow-up at school age of children with asymmetric ventricles or unilateral ventriculomegaly identified in utero. *BJOG* 2015; 122: 932–938.
33. Sadan S, Malinger G, Schweiger A, Lev D, Lerman-Sagie T. Neuropsychological outcome of children with asymmetric ventricles or unilateral mild ventriculomegaly identified in utero. *BJOG* 2007; 114: 596–602.
34. Mahony BS, Callen PW, Filly RA, Hoddick WK. The fetal cisterna magna. *Radiology* 1984; 153: 773–776.
35. Wimberger-Prayer D. Fetal MRI. Springer-Verlag: Berlin, Heidelberg, 2011.
36. Garel C. MRI of the Fetal Brain. Normal Development and Cerebral Pathologies. Springer-Verlag: Berlin, Heidelberg, 2004.
37. Prayer D, Malinger G, Brugger PC, Cassady C, De Catte L, De Keersmaecker B, Fernandes GL, Glanc P, Goncalves LF, Gruber GM, Laifer-Narin S, Lee W, Millischer AE, Molho M, Neelavalli J, Platt L, Pugash D, Ramaekers P, Salomon LJ, Sanz M, Timor-Tritsch IE, Tutschek B, Twickler D, Weber M, Ximenes R, Raine-Fenning N. ISUOG Practice Guidelines: performance of fetal magnetic resonance imaging. *Ultrasound Obstet Gynecol* 2017; 49: 671–680.
38. Levine D, Barnes PD, Robertson RR, Wong G, Mehta TS. Fast MR imaging of fetal central nervous system abnormalities. *Radiology* 2003; 229: 51–61.
39. Griffiths PD, Bradburn M, Campbell MJ, Cooper CL, Graham R, Jarvis D, Kilby MD, Mason G, Mooney C, Robson SC, Wailoo A, on behalf of the MERIDIAN collaborative group. Use of MRI in the diagnosis of fetal brain abnormalities in utero (MERIDIAN): a multicentre, prospective cohort study. *Lancet* 2017; 389: 538–546.
40. Malinger G, Paladini D, Pilu G, Timor-Tritsch IE. Fetal cerebral magnetic resonance imaging, neurosonography and the brave new world of fetal medicine. *Ultrasound Obstet Gynecol* 2017; 50: 679–680.
41. Paladini D, Donarini G, Rossi A. Indications for MRI in fetal isolated mild ventriculomegaly ... 'And then, there were none'. *Ultrasound Obstet Gynecol* 2019; 54: 151–155.
42. Birnbaum R, Ben-Sira L, Lerman-Sagie T, Malinger G. The use of fetal neurosonography and brain MRI in cases of cytomegalovirus infection during pregnancy: A retrospective analysis with outcome correlation. *Prenat Diagn* 2017; 37: 1335–1342.

Приложение 1. Уровни достоверности доказательств и убедительности рекомендаций, используемые в настоящих Практических рекомендациях

Уровни достоверности доказательств	
1++	Метаанализы высокого качества, систематические обзоры рандомизированных контролируемых исследований или рандомизированные контролируемые исследования с очень низким риском систематических ошибок
1+	Метаанализы хорошего качества, систематические обзоры рандомизированных контролируемых исследований или рандомизированные контролируемые исследования с низким риском систематических ошибок
1–	Метаанализы, систематические обзоры рандомизированных контролируемых исследований или рандомизированные контролируемые исследования с высоким риском систематических ошибок
2++	Систематические обзоры высокого качества работ с дизайном случай–контроль/когортные исследования или высокого качества работы с дизайном случай–контроль/когортные исследования с очень низким риском наличия искажающих факторов, систематических и случайных ошибок и случайных ошибок и высокой вероятностью причинно-следственных связей
2+	Хорошего качества работы с дизайном случай–контроль или когортные исследования с низким риском наличия искажающих факторов, систематических и случайных ошибок и умеренной вероятностью причинно-следственных связей
2–	Работы с дизайном случай–контроль или когортные исследования с высоким риском наличия искажающих факторов, систематических и случайных ошибок и значительным риском, что связи не являются причинно-следственными
3	Неаналитические исследования, такие как отдельные клинические наблюдения или серии клинических наблюдений
4	Мнение эксперта
Уровни убедительности рекомендаций	
A	Не менее одного метаанализа, систематического обзора или рандомизированного контролируемого исследования, ранжированного как 1++ и применимого непосредственно к целевой популяции; или систематический обзор рандомизированных контролируемых исследований/совокупность доказательств, основанная преимущественно на исследованиях, ранжированных как 1+, применимых непосредственно к целевой популяции и демонстрирующих общую согласованность результатов
B	Совокупность доказательств, включающая исследования, ранжированные как 2++, применимые непосредственно к целевой популяции и демонстрирующие общую согласованность результатов; или экстраполированные доказательства из исследований, ранжированных как 1++ или 1+
C	Совокупность доказательств, включающая исследования, ранжированные как 2+, применимые непосредственно к целевой популяции и демонстрирующие общую согласованность результатов; или экстраполированные доказательства из исследований, ранжированных как 2++
D	Уровень достоверности доказательств 3 или 4 или экстраполированные доказательства из исследований, ранжированных как 2+
Стандарты надлежащей клинической практики	Лучшие практические рекомендации, основанные на клиническом опыте экспертов из группы составителей настоящих Практических рекомендаций

Перевод на русский язык: **Батаева Р.С.**

Рецензент перевода на русский язык: **Некрасова Е.С.**

Translation by **Dr. Roza Bataeva**

Review by **Dr. Ekaterina Nekrasova**

ISSN 1607-0771(Print); ISSN 2408-9494 (Online)

<https://doi.org/10.24835/1607-0771-272>

Ультразвуковая оценка сердечной деятельности эмбриона как прогностический критерий неблагоприятного исхода беременности

Д.Н. Тимакина^{1, 2*}, М.Н. Буланов^{3, 4}, В.А. Ефремов⁵

¹ ГБУЗ города Москвы “ГКБ имени Ф.И. Иноземцева ДЗ города Москвы”;
105187 Москва, ул. Фортунатовская, д. 1, Российская Федерация

² ООО “Хороший доктор”; 107076 Москва, ул. Краснобогатырская, д. 90, с. 2,
Российская Федерация

³ ГБУЗ Владимирской области “Областная клиническая больница”;
600023 Владимир, Судогодское шоссе, д. 41, Российская Федерация

⁴ ФГБОУ ВПО “Новгородский государственный университет имени Ярослава Мудрого”; 173003 Великий Новгород, ул. Большая Санкт-Петербургская, д. 41,
Российская Федерация

⁵ ФГАОУ ВО “Балтийский федеральный университет имени Иммануила Канта”;
236041 Калининград, ул. А. Невского, д. 14, Российская Федерация

Цель исследования: изучение значимости частоты сердечных сокращений (ЧСС) эмбриона/плода в ранние сроки беременности при ультразвуковом исследовании для формирования группы высокого риска неблагоприятного исхода беременности.

Материал и методы. Проведен ретроспективный анализ ультразвуковых исследований 1073 беременных в 5^{+0} – 10^{+6} нед. ЧСС эмбриона/плода сопоставляли со сроком беременности, рассчитанным по копчико-теменному размеру (КТР) и по дате последней менструации. Ретроспективно обследованные беременные разделены на 2 группы: 1-я группа – с внутриутробной гибелью эмбриона до 14 нед беременности ($n = 107$); 2-я группа – с пролонгированием беременности до II триместра ($n = 966$). При обработке массива данных с помощью дерева решений ЧСС эмбриона оценивалась в различные сроки беременности по дате последней менструации, по КТР, а также без учета точного срока беременности.

Тимакина Дарья Николаевна – главный врач ООО “Хороший доктор”; врач высшей категории, врач ультразвуковой диагностики обособленного подразделения “Женская консультация №2” ГБУЗ города Москвы “ГКБ имени Ф.И. Иноземцева ДЗ города Москвы”, Москва. <https://orcid.org/0009-0000-2412-628X>

Буланов Михаил Николаевич – доктор мед. наук, заведующий отделением ультразвуковой диагностики ГБУЗ ВО “Областная клиническая больница”, Владимир; профессор кафедры внутренних болезней Института медицинского образования ФГБОУ ВО “Новгородский государственный университет имени Ярослава Мудрого”, Великий Новгород. <https://orcid.org/0000-0001-8295-768X>

Ефремов Владимир Анатольевич – канд. физ.-мат. наук, научный сотрудник НИИ прикладной информатики и математической геофизики ФГАОУ ВО “Балтийский федеральный университет имени Иммануила Канта”, Калининград. <https://orcid.org/0009-0009-2432-381X>

Контактная информация*: Тимакина Дарья Николаевна – e-mail: clinicgooddoctor@gmail.com

Результаты. Анализ значений ЧСС в разные сроки беременности по последней менструации показал достоверность отличий ЧСС между группами, причем для поздние погибших эмбрионов оказалось характерным снижение ЧСС. Отсутствовали достоверные различия ЧСС между группами в разные сроки беременности, рассчитанные по КТР (достоверные различия наблюдались только в 8⁺⁰–9⁺⁶ нед). Для прогноза неблагоприятного исхода беременности предложены пороговые значения ЧСС для различных сроков беременности, а также универсальное пороговое значение ЧСС для всего эмбрионального периода.

Выводы. Использование предложенных пороговых значений ЧСС эмбриона для разных сроков беременности, рассчитанных по дате последней менструации, может быть эффективно использовано для своевременного прогноза неблагоприятного исхода беременности. Когда неизвестен точный срок беременности, возможно использование универсального порогового значения ЧСС <116 уд/мин. Все предложенные пороговые значения ЧСС имеют высокую специфичность. Ни одно из предложенных пороговых значений ЧСС не имеет высокой чувствительности, повысить которую может его использование в сочетании с другими ультразвуковыми и клиническими маркерами неблагоприятного исхода беременности в эмбриональном периоде.

Ключевые слова: ультразвуковая диагностика; неразвивающаяся беременность; ультразвуковые маркеры; частота сердечных сокращений эмбриона

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии возможных конфликтов интересов.

Финансирование. Исследование проведено без спонсорской поддержки.

Цитирование: Тимакина Д.Н., Буланов М.Н., Ефремов В.А. Ультразвуковая оценка сердечной деятельности эмбриона как прогностический критерий неблагоприятного исхода беременности. *Ультразвуковая и функциональная диагностика*. 2024; 3: 61–74.
<https://doi.org/10.24835/1607-0771-272>

ВВЕДЕНИЕ

Своевременное выявление риска неблагоприятного развития беременности с самых ранних сроков по данным ультразвукового исследования очень актуально в связи с простотой выполнения исследования, высокой точностью измерений, а также быстрым результатом (нередко моментальным) или предполагающим короткое динамическое наблюдение.

Это помогает своевременно выбрать или поменять тактику ведения беременной пациентки и избежать более травматичных как психологических, так и физических вмешательств в случае поздней констатации факта неразвивающейся беременности [1–3]. В обзоре (2023) представлены все известные в настоящее время ультразвуковые маркеры неблагоприятного исхода беременности, наблюдаемые в эмбриональном периоде. При этом проведенный обзор показал, что одним из наиболее значимых маркеров неблагоприятного исхода является нарушение сердечной деятельности эмбриона [4].

Для точной оценки состояния сердечной деятельности эмбриона необходимо иметь четкое представление о его гемодинамике

в норме. В сравнительно недавнем масштабном ретроспективном исследовании Y. Ouyang и соавт. (2020) представлены следующие нормативные значения частоты сердечных сокращений (ЧСС) эмбриона (5–50–95-й процентиль): в 6⁺⁰–6⁺⁶ нед 103–117–128 уд/мин, в 7⁺⁰–7⁺⁶ нед 124–146–164 уд/мин, в 8⁺⁰–8⁺⁷ нед 158–174–186 уд/мин, в 9⁺⁰–9⁺⁶ нед 162–176–188 уд/мин, в 10⁺⁰–10⁺⁶ нед 160–174–186 уд/мин [5].

По данным A. Chittachoen и соавт. (2004), снижение ЧСС <120 уд/мин прогнозировало гибель эмбриона с чувствительностью 54,2% и специфичностью 94,8% [6]. В исследовании F.S. Dede и соавт. (2010) в качестве предиктора самопроизвольного прерывания беременности предлагается ЧСС <130 уд/мин в 5–14 нед с чувствительностью 81,4% и специфичностью 85,1% [7]. В своей работе S.F. El-Mekkawi и соавт. (2015) в качестве порогового значения ЧСС использовали 111 уд/мин на 7-й неделе беременности (6⁺¹–7 нед). Чувствительность данного параметра как предиктора невынашивания составила 92%, специфичность – 91% [8]. M. R. Datta и соавт. (2017) провели исследование среди женщин с одноплодной беременностью в сроки от 42 до 76 дней гес-

тации (6^{+0} – 10^{+6} нед беременности). Авторы пришли к выводу, что снижение ЧСС эмбриона на каждые 10 ударов ниже 130 уд/мин повышало риск неблагоприятного исхода беременности на 26,7%. При этом все беременности с ЧСС эмбриона <80 уд/мин закончились самопроизвольным выкидышем. Оптимальным пороговым значением ЧСС для прогнозирования неблагоприятного исхода авторы считают ЧСС 128 уд/мин с чувствительностью 71,14% и специфичностью 97,58% ($p < 0,001$) [9]. В работе А.Ю. Блинова и Е.С. Емельяненко (2024) отмечается, что крайне неблагоприятным в плане прогноза является ЧСС менее 80–90 уд/мин в 5–10 нед беременности [10].

Многие исследователи при оценке значимости ультразвуковых маркеров неблагоприятного исхода беременности использовали метод многопараметрической логистической регрессии. Благодаря данному методу возможно оценить p -value (значение p) для каждого параметра, а также OR (odds ratio), то есть отношение шансов, а именно, насколько принадлежность к группе изменяет шансы исхода. К сожалению, на основе подобных расчетов затруднительно сформулировать практически применимые критерии неблагоприятного исхода, поскольку для получения численных пороговых значений необходимо знать коэффициенты логистической регрессии, которые в этих работах не приводятся. Кроме того, расчеты относятся к полному совокупному распределению параметров, а значит, при таком статистическом анализе данных невозможно сформулировать критерий по одному параметру из-за того, что в исследовании присутствуют несколько значимых параметров [11–15]. Некоторые авторы сообщают об использовании снижения ЧСС <5 -го перцентиля для прогнозирования неблагоприятного исхода [16–18]. Так, по данным G. Makrydimas и соавт. (2003) чувствительность критерия составила 71,14%, а прогностическая ценность положительного и отрицательного результатов 86,21 и 94,15% соответственно [16]. В исследовании М.М. Altaу и соавт. (2009) чувствительность данного показателя была 50%, а специфичность – 94,9% ($p = 0,01$) [17].

В нашем ретроспективном исследовании (2018) показатели ЧСС (медиана и 5-й–95-й перцентили) для групп с внутриутробной

гибелью эмбриона до 14 нед беременности ($n = 47$) и с нормальным исходом ($n = 335$) составили соответственно: в 6^{+0} – 6^{+6} нед – 102 (98–125) и 118 (103–140), $p = 0,0002$; в 7^{+0} – 7^{+6} нед – 110 (70–149) и 122 (112–172), $p = 0,009$; в 8^{+0} – 8^{+6} нед – 112 (86–178) и 147 (129–183), $p = 0,0001$. В сроки до 6 нед и ≥ 9 нед различия были недостоверны. На основании полученных данных нами были предложены пороговые значения ЧСС для прогнозирования неблагоприятного исхода: <116 уд/мин в 6^{+0} – 6^{+6} нед; <120 уд/мин в 7^{+0} – 7^{+6} нед; <138 уд/мин в 8^{+0} – 8^{+6} нед [19]. Для этих же групп беременных нами с использованием дерева решений было рассчитано пороговое значение ЧСС эмбриона как предиктора неблагоприятного исхода <117 уд/мин для любого срока беременности. Чувствительность признака составила 64%, специфичность достигла 91%, прогностическая ценность отрицательного результата – 94%, точность – 87% [20].

Цель исследования: изучение значимости оценки ЧСС эмбриона для формирования группы высокого риска неблагоприятного исхода в расширенной группе беременных.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

Настоящее исследование проведено на базе ООО “Хороший доктор” (Москва). За период с 2013 по 2023 г. обследовано 1073 беременных в сроки 5^{+0} – 10^{+6} нед. Трансвагинальное ультразвуковое исследование было основным методом сканирования. Трансабдоминальное ультразвуковое исследование также проводилось во всех случаях как вспомогательный метод для общей оценки состояния органов малого таза. Все исследования проводились одним врачом с опытом работы более 10 лет. Применялись ультразвуковые сканеры Medison Sonoace X8 и Mindray DC70 pro с трансвагинальными датчиками 6–8 МГц. Регистрация ЧСС эмбриона проводилась с использованием М-режима. Только в случаях невозможности оценки ЧСС в М-режиме использовались цветовая и спектральная доплерография, при этом время воздействия на эмбрион сводилось к необходимому минимуму с учетом данных Бюллетеня Международного общества ульт-

тразвука в акушерстве и гинекологии (ISUOG) (2021 г.), не рекомендуя рутинное использование доплеровских методов в ранние сроки беременности [21]. ЧСС эмбриона сопоставляли со сроком беременности, рассчитанным по копчико-теменному размеру (КТР) [20] и отдельно по дате последней менструации (ПМ). Во всех случаях эмбрион был жив на момент исследования. Из исследования исключались беременные с абдоминальным болевым синдромом, с кровянистыми выделениями, а также с ультразвуковыми признаками ретрохориальной гематомы. Обследованные беременные впоследствии разделены на 2 группы: 1-я группа – с внутриутробной гибелью эмбриона до 14 нед беременности ($n = 107$); 2-я группа – с пролонгированием беременности до II триместра ($n = 966$). Для каждой недели беременности рассчитаны показатели ЧСС: медиана, 5-й и 95-й процентиля. Для сравнения между группами использован критерий Манна–Уитни. Для групп с достоверными различиями результатов проведен статистический анализ данных прогнозных моделей с построением дерева решений для определения пороговых значений ЧСС эмбриона/плода с целью формирования группы высокого риска ранних пренатальных потерь. Для расчетов использовалось программное обеспечение R-system версии 3.3.3. R-system – это свободное программное обеспечение с открытым исходным кодом, которое разрабатывается и поддерживается международным сообществом разработчиков, объединенных в проект под названием “R Development Core Team”. При построении дерева решений использовалась процедура ctree из пакета party. Алгоритм ctree из пакета party для R создает деревья решений, основанные на статистических тестах. Основная цель алгоритма – поиск оптимальных точек разделения данных для предсказания целевой переменной. Процесс начинается с выбора признака, который лучше всего разделяет данные. Для этого ctree использует критерий независимости, оценивая связь между признаками и целевой переменной с помощью статистических тестов, таких как тесты χ^2 для категориальных данных или тесты отношения правдоподобия для числовых данных. Алгоритм выбирает признак с наименьшим p-value, пока-

зывающим наибольшую значимость разделения. Разделение происходит только при значении p-value ниже установленного порога значимости (α). Для предотвращения переобучения ctree также учитывает минимальный размер узлов, максимальную глубину дерева и минимальное улучшение при разделении. Эти принципы обеспечивают создание статистически обоснованных и устойчивых деревьев. Узлы делятся рекурсивно, пока не будут достигнуты условия остановки, создавая дерево, в листовых узлах которого находятся предсказания целевой переменной. Алгоритм ctree таким образом обеспечивает точное и интерпретируемое моделирование зависимостей в данных, что делает его мощным инструментом для анализа и предсказания. Важно подчеркнуть, что алгоритм может применяться и для одного признака, тогда алгоритм может обнаружить несколько пороговых значений, при этом алгоритм ctree разбивает диапазон изменения признака на несколько интервалов. Интервалы будут значимо отличаться по вероятности, например, благоприятного или неблагоприятного исхода в случае категориальной целевой переменной с двумя уровнями. Описание алгоритма доступно в документации, распространяемой вместе с пакетом, а также в публикации Т. Hothorn и соавт. (2006) [22]. При обработке массива данных было принято решение о рассмотрении трех теорий: 1) ЧСС эмбриона оценивалась в различные сроки беременности по дате ПМ, 2) ЧСС эмбриона оценивалась в различные сроки беременности, рассчитанные по КТР, 3) ЧСС эмбриона оценивалась без учета точного срока беременности. Количественные данные возраста подчинялись закону нормального распределения и представлялись в виде значений: среднего (M), стандартного отклонения (SD), минимального–максимального значений ($min-max$). В качестве параметров, характеризующих диагностическую ценность критериев диагностики, рассчитывались показатели: чувствительность (Se), специфичность (Sp) и точность (Ac) методов, прогностическая ценность положительного (PVP) и отрицательного (PVN) результатов.

Во всех случаях было получено информированное согласие пациенток на исследование.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Средний возраст обследованных беременных в 1-й группе составил $31,6 \pm 5,8$ года (18–46 лет), во 2-й группе $29,8 \pm 4,7$ года (17–44 года), при этом различия оказались статистически значимыми ($p = 0,0003$). Графическое распределение возраста беременных в зависимости от исхода беременности представлено на рис. 1.

Диапазон значений ЧСС в разные сроки беременности в исследуемых группах, рассчитанных по ПМ и по КТР, представлен в табл. 1 и 2.

Из представленных в табл. 1, 2 данных видно, что в самые ранние сроки ($5^{+0}-5^{+6}$ нед и по ПМ, и по КТР) ЧСС между группами достоверно не отличалась ($p > 0,05$). В две последующие недели беременности ($6^{+0}-7^{+6}$ нед и по ПМ, и по КТР) выявлялись достоверные различия в ЧСС между группами ($p < 0,002$). В дальнейшем отмечались достоверные различия ЧСС между группами в $8^{+0}-9^{+6}$ нед по ПМ ($p < 0,0000001$), тогда как в $8^{+0}-9^{+6}$ нед по КТР достоверных различий ЧСС между группами не было ($p > 0,05$). В $10^{+0}-10^{+6}$ нед и по ПМ, и по КТР достоверных различий ЧСС между группами не было ($p > 0,05$). Для большей

наглядности на рис. 2 представлен графический анализ показателей ЧСС в исследуемых группах.

С учетом полученных результатов нами рассчитаны пороговые значения ЧСС для прогноза неблагоприятного исхода беременности в разные сроки, рассчитанные по ПМ:

- $6^{+0}-6^{+6}$ нед < 114 уд/мин (Se 71%, Sp 69%);
- $7^{+0}-7^{+6}$ нед < 98 уд/мин (Se 35%, Sp 91%);
- $8^{+0}-8^{+6}$ нед < 138 уд/мин (Se 59%, Sp 92%);
- $9^{+0}-9^{+6}$ нед < 116 уд/мин (Se 57%, Sp 97%).

При расчете пороговых значений нами использовалась методика дерева решений. Деревья решений были построены с учетом только параметра ЧСС эмбриона/плода для каждого срока беременности, определенного по доплерометрии (ДПП). Для примера на рис. 3 представлено дерево решений для $8^{+0}-9^{+6}$ по ДПП. Для этого двухнедельного промежутка беременности нами также было рассчитано отношение правдоподобия положительного результата – 20,2 (т.е. в 20,2 раза возрастает шанс гибели эмбриона в случае положительного теста).

Нами также проведено сравнение ЧСС между группами в целом без учета срока беременности (табл. 3, рис. 4).

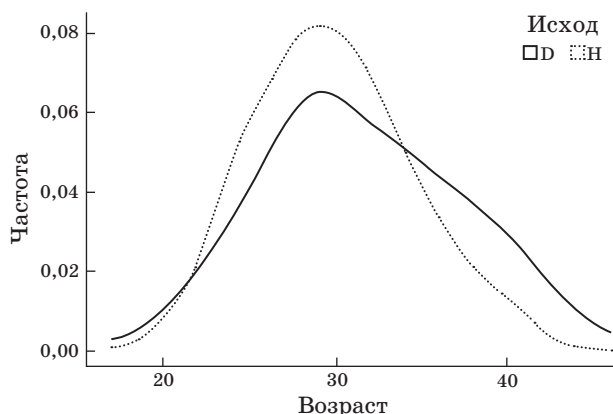


Рис. 1. Общий вид распределения возраста беременных в зависимости от исхода беременности суммарно по всем данным без учета срока беременности (Сплошная линия – D (dead) – неразвивающиеся беременности, пунктирная линия – H (healthy) – прогрессирующие беременности). “Частота” – это величина, выражающая число повторений, т.е., например, если значение по оси “частота” 0,02, то при размере популяции в 100 беременных, возраст, соответствующий 0,02, будет встречаться у 2 беременных. На графике видно, что значения возраста значимо различаются между группами ($p = 0,0003$).

Fig. 1. General view of the distribution of the pregnant women age depending on the outcome of pregnancy in total, regardless of gestational age (Solid line D (dead) – non-developing pregnancies; dotted line H (healthy) – progressing pregnancies). “Frequency” is a number of repetitions. For example, a value of 0.02 on the “frequency” axis shows that gestational age corresponding to 0.02 will be found in 2 of 100 pregnant women. The graph shows the significant differences in gestational age between the groups ($p = 0,0003$).

Таблица 1. Диапазон значений ЧСС в разные сроки беременности по ПМ в группе нормальных исходов (2-я группа) и позднее погибших эмбрионов (1-я группа)

Table 1. Range of heart rate values at different gestational ages by LMP in the groups of normal outcomes (Group 2) and later deceased embryos (Group 1)

	5%	50%	95%	
Срок беременности по ПМ 5 ⁺⁰ –5 ⁺⁶ нед Gestational age according to LM 5 ⁺⁰ –5 ⁺⁶ weeks				
2-я группа Group 2 (n = 44)	91	106	120	p = 0,226
1-я группа Group 1 (n = 6)	86	100	116	
Срок беременности 6 ⁺⁰ –6 ⁺⁶ нед Gestational age 6 ⁺⁰ –6 ⁺⁶ weeks				
2-я группа Group 2 (n = 178)	98	120	141	p = 0,0013
1-я группа Group 1 (n = 24)	93	112	134	
Срок беременности 7 ⁺⁰ –7 ⁺⁶ нед Gestational age 7 ⁺⁰ –7 ⁺⁶ weeks				
2-я группа Group 2 (n = 240)	111	148	171	p < 0,0000001
1-я группа Group 1 (n = 38)	71	116	164	
Срок беременности 8 ⁺⁰ –8 ⁺⁶ нед Gestational age 8 ⁺⁰ –8 ⁺⁶ weeks				
2-я группа Group 2 (n = 211)	126	168	183	p < 0,0000001
1-я группа Group 1 (n = 30)	82	133	183	
Срок беременности 9 ⁺⁰ –9 ⁺⁶ нед Gestational age 9 ⁺⁰ –9 ⁺⁶ weeks				
2-я группа Group 2 (n = 180)	131	173	186	p < 0,0000001
1-я группа Group 1 (n = 7)	87	114	176	
Срок беременности 10 ⁺⁰ –10 ⁺⁶ нед Gestational age 10 ⁺⁰ –10 ⁺⁶ weeks				
2-я группа Group 2 (n = 113)	157	171	185	p = 0,324
1-я группа Group 1 (n = 2)	170	178	185	

Таблица 2. Диапазон значений ЧСС в разные сроки беременности по КТР в группе нормальных исходов (2-я группа) и позднее погибших эмбрионов (1-я группа)

Table 2. Range of heart rate values at different gestational ages by CRL in the groups of normal outcomes (Group 2) and later deceased embryos (Group 1)

	5%	50%	95%	
Срок беременности по ПМ 5⁺⁰–5⁺⁶ нед Gestational age according to LM 5⁺⁰–5⁺⁶ weeks				
2-я группа Group 2 (n = 44)	89	104	128	p = 0,16
1-я группа Group 1 (n = 6)	65	98	130	
Срок беременности 6⁺⁰–6⁺⁶ нед Gestational age 6⁺⁰–6⁺⁶ weeks				
2-я группа Group 2 (n = 178)	100	119	132	p < 0,00001
1-я группа Group 1 (n = 24)	71	110	128	
Срок беременности 7⁺⁰–7⁺⁶ нед Gestational age 7⁺⁰–7⁺⁶ weeks				
2-я группа Group 2 (n = 240)	121	144	161	p = 0,002
1-я группа Group 1 (n = 38)	105	133	162	
Срок беременности 8⁺⁰–8⁺⁶ нед Gestational age 8⁺⁰–8⁺⁶ weeks				
2-я группа Group 2 (n = 211)	153	168	180	p = 0,42
1-я группа Group 1 (n = 30)	121	165	191	
Срок беременности 9⁺⁰–9⁺⁶ нед Gestational age 9⁺⁰–9⁺⁶ weeks				
2-я группа Group 2 (n = 180)	162	175	188	p = 0,79
1-я группа Group 1 (n = 7)	162	177	183	
Срок беременности 10⁺⁰–10⁺⁶ нед Gestational age 10⁺⁰–10⁺⁶ weeks				
2-я группа Group 2 (n = 113)	157	171	185	—
1-я группа Group 1 (n = 2)	—	—	—	

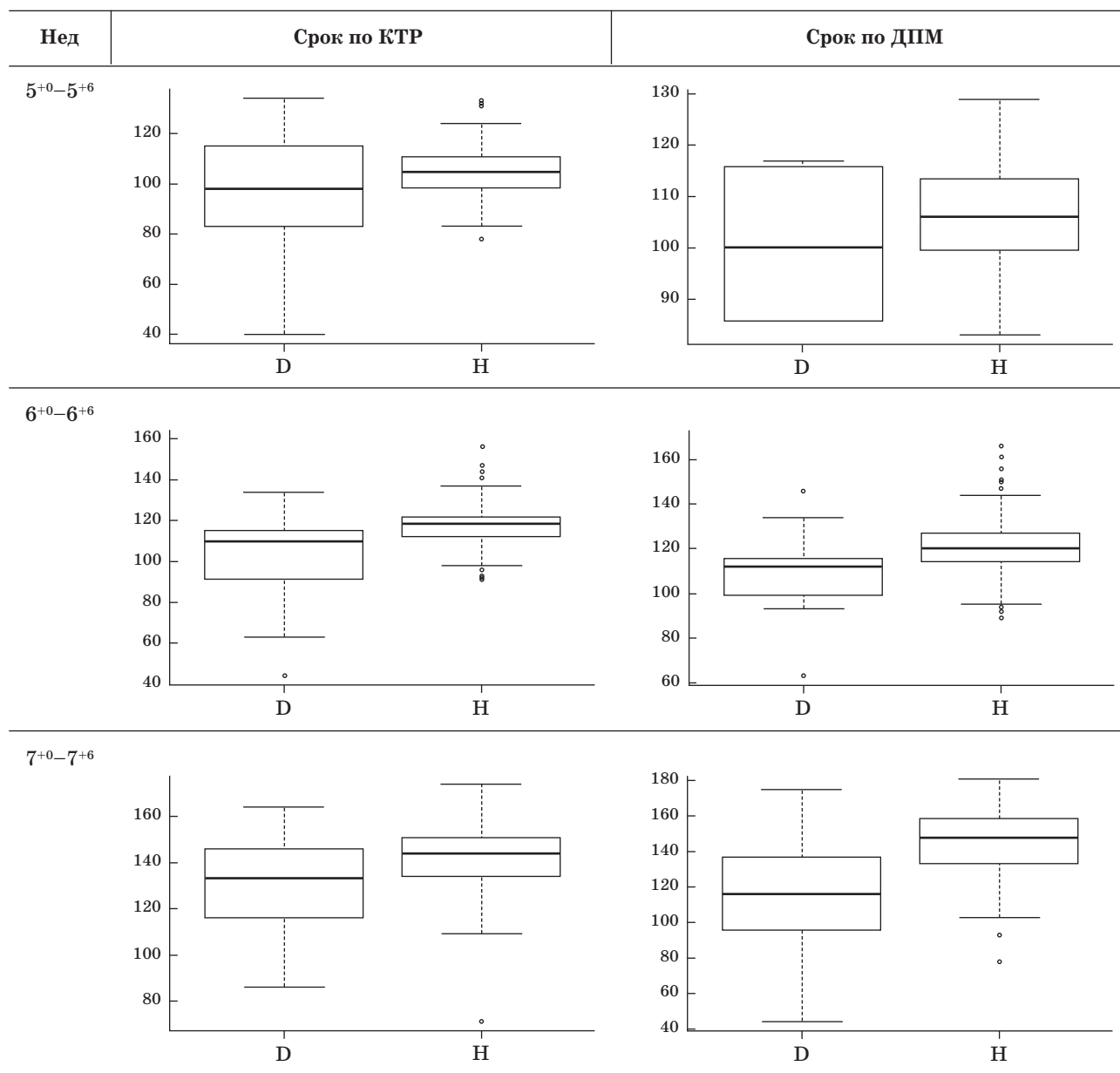


Рис. 2. Графический анализ показателей ЧСС в исследуемых группах в разные сроки беременности, рассчитанные по ПМ и КТР. D (dead) – гибель эмбриона, H (healthy) – нормальный исход. На графиках прямоугольниками показаны диапазоны ЧСС из массива данных, жирными линиями в прямоугольнике отмечена медиана показателей ЧСС. В группе по КТР в сроки 10⁺⁰–10⁺⁶ нед нет погибших.

Fig. 2. Graphical analysis of heart rate values in the groups at different gestational ages by LMP and CRL. D (dead) – later deceased embryos; H (healthy) – normal outcome. The rectangles on the graph show the heart rate ranges in the data array, and the thick lines in the rectangle indicate the median of heart rate values. There were no embryo deaths in the group of 10⁺⁰–10⁺⁶ weeks by CRL.

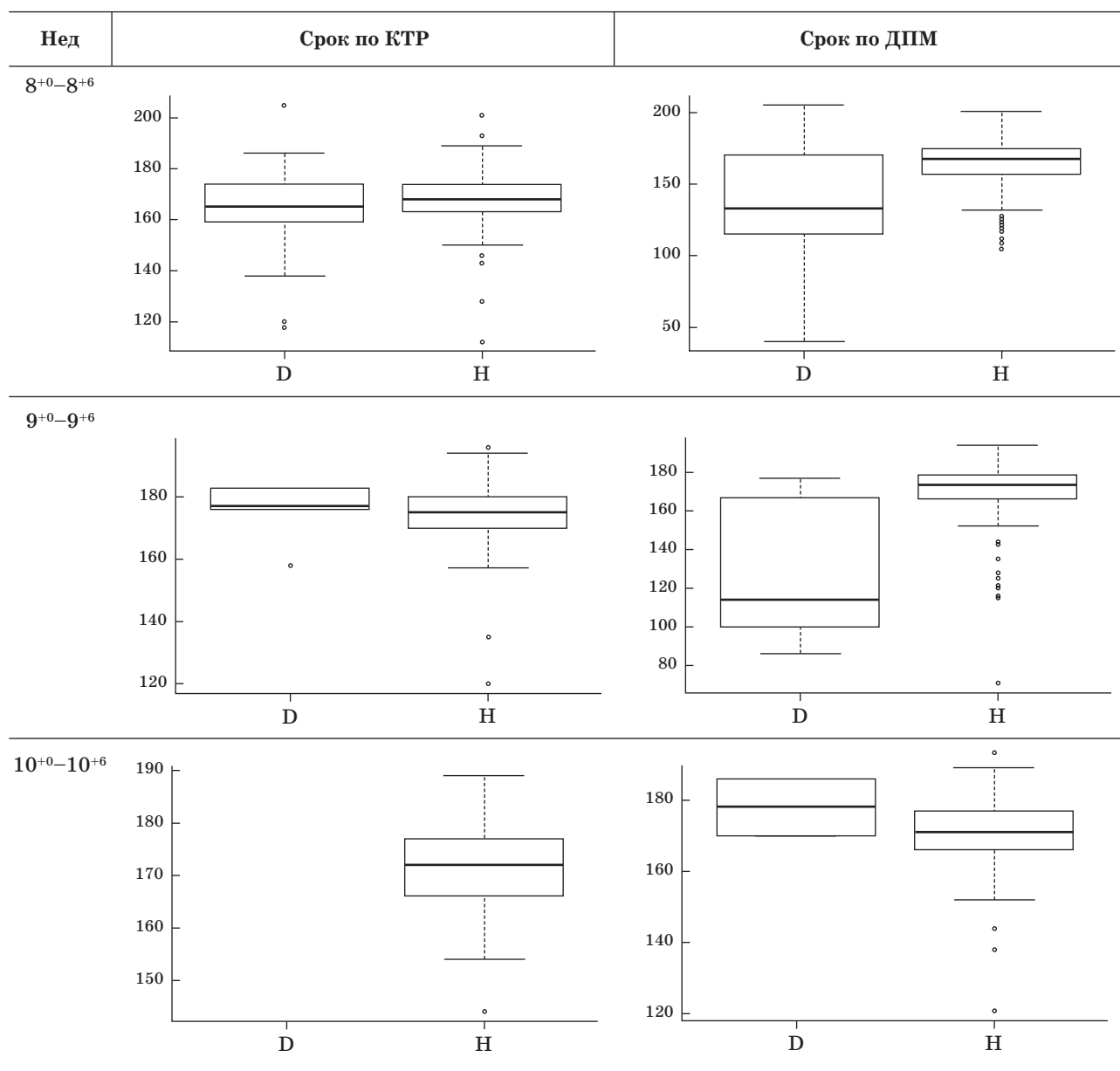


Рис. 2 (окончание).
Fig. 2 (end).

Рис. 3. Дерево решений для 8⁺⁰–9⁺⁶ нед суммарно по ДПМ. Эти сроки выбраны в связи с большим количеством данных по сравнению с другими неделями. По КТР расчеты не проводились в связи с ранее указанными причинами. Из дерева решения видно, что при ЧСС менее порогового значения 116 уд/мин вероятность неблагоприятного исхода близка к 70%. В оставшейся группе >116 уд/мин определено следующее пороговое значение в 138 уд/мин, при котором с вероятностью более 90% исход беременности будет нормальным, а при менее чем 138 уд/мин лишь 30% закончится неблагоприятно.

Матрица несоответствия для данного дерева решений:

		реаль- ность	
		D	H
прог- ноз	D	14	7
	H	22	358

Чувствительность – 38%;

специфичность – 98%;

положительная прогностическая ценность – 66%;

отрицательная прогностическая ценность – 94%;

отношение правдоподобия положительного результата – 20,2 (т.е. в 20,2 раза возрастает шанс гибели эмбриона в случае положительного теста).

Корневой узел (1) отвечает критерию разделения всего множества наблюдений по пороговому критерию для ЧСС <116 уд/мин и >116 уд/мин, при этом надежность такого разделения оценивается величиной p-value <0,001, то же самое можно сказать про узел 3, где критерий разделения находится уже во множестве наблюдений, для которых ЧСС >116 уд/мин, алгоритм разделяет данные по критерию ЧСС <138 и >138 уд/мин, при этом в листьях дерева указывается оценка вероятности благоприятного (H) и неблагоприятного исхода (D), т.е. для узла 2 вероятность благоприятного исхода порядка 0,35 (35%), а для узла 5 вероятность будет больше – 0,9 (более 90%).

Fig. 3. The decision tree for 8⁺⁰–9⁺⁶ weeks by LMP in total. This period was chosen for analysis due to the large amount of data compared to other gestational ages. No calculations were made for ages by CRL, because of the previously stated reasons. The decision tree shows the probability of an adverse outcome about 70% when the heart rate value is below the threshold value of 116 bpm. In the remaining group (>116 bpm), the threshold value of 138 bpm was determined. The HR values > 138 bpm indicate a probability of a normal pregnancy outcome of more than 90%, and in HR values < 138 bpm there will be only 30% of adverse outcomes.

Confusion matrix for this decision tree:

		real		Sensitivity – 38% Specificity – 98% Positive predictive value – 66% Negative predictive value – 94%
		D	H	
predic- red	D	14	7	
	H	22	358	

Likelihood ratio of a positive result – 20.2 (i.e. the chance of embryo death in case of a positive test increases by 20.2 times).

The root node (1) meets the criterion of dividing the entire set of observations by the threshold criterion for HR <116 bpm and >116 bpm, while the reliability of such a division is estimated by the P value <0.001. The same is true for the Node 3, where the division criterion is already in the set of cases for which HR > 116 bpm. The algorithm divides the data by the criterion HR <138 bpm and >138 bpm while the “leaves of the tree” indicate the probability of a normal (H) and adverse outcome (D). For example, for Node 2 the probability of a favorable outcome is about 0.35 (35%), and for Node 5 the probability is greater than 0.9 (more than 90%).

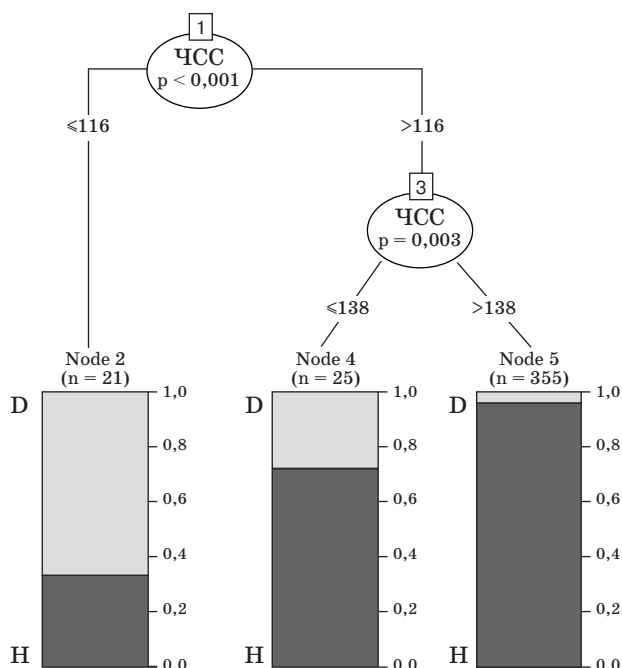


Таблица 3. Диапазон значений ЧСС суммарно по всем неделям ($5^{+0}-10^{+6}$) беременности по ДПМ в группе нормальных исходов (Н) и позднее погибших (D)

Table 3. Range of heart rate values in total for all weeks ($5^{+0}-10^{+6}$) of pregnancy by LMP in the groups of normal outcomes (H) and later deceased embryos (D)

Срок беременности Gestational age	5 ⁺⁰ –10 ⁺⁶ нед / 5 ⁺⁰ –10 ⁺⁶ weeks		
	5%	50%	95%
Н (норма / normal outcomes)	106	159	182
D (гибель / dead)	75	116	177
p	0,004		

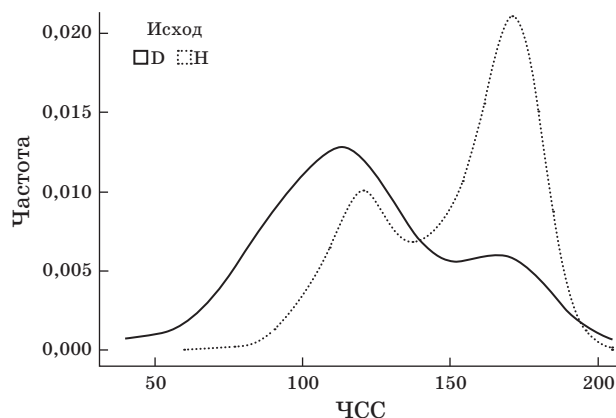


Рис. 4. Общий вид распределения ЧСС эмбриона в зависимости от исхода беременности суммарно по всем данным без учета срока беременности. Сплошная линия – D (dead) – неразвивающиеся беременности, пунктирная линия – H (healthy) – прогрессирующие беременности. “Частота” – это величина, выражающая число повторений, т.е., например, если значение по оси “частота” 0,005, то при размере популяции в 1000 беременных эмбрион с ЧСС, соответствующий 0,005, будет встречаться у 5 беременных. На графике видно, что значения ЧСС значительно различаются между группами. Пик в группе D бимодальный, но даже средние значения значительно различаются.

Fig. 4. General view of the embryo HR distribution according to the pregnancy outcome in total regardless of the gestational age. Solid line D (dead)—non-developing pregnancies; dotted line H (healthy) – progressing pregnancies. “Frequency” is a number of repetitions. For example, the value of 0.005 on the “frequency” axis shows that an embryo heart rate corresponding to 0.005 will be found in 5 of 1000 pregnant women. The graph shows the significant differences in heart rate values between the groups. The peak in Group D is bimodal, but even the average values are significantly different.

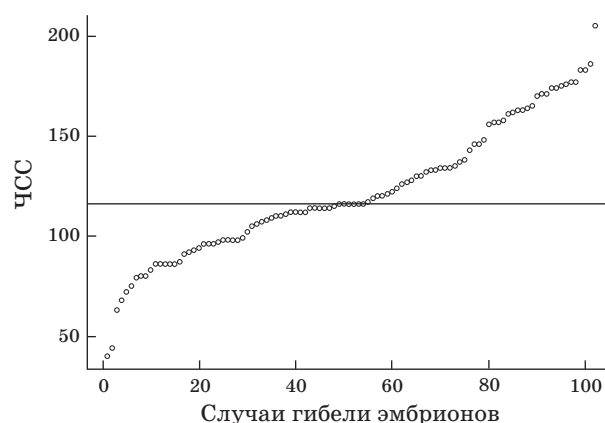


Рис. 5. Наглядное распределение случаев гибели эмбриона в зависимости от ЧСС без разделения на недели беременности. Линией обозначено пороговое значение 116 уд/мин. Порогу ≤ 116 уд/мин соответствует 54 (52%) случая гибели их общего количества 102.

Fig. 5. Visual distribution of embryo death cases depending on HR without dividing by weeks of pregnancy. The line indicates the cut-off value of 116 bpm. When cut-off ≤ 116 bpm – 54 cases of death (52%) out of 102).

Как видно из представленных на рис. 4 данных, отмечались достоверные различия ЧСС между 1-й и 2-й группами даже без разделения пациенток на подгруппы по неделям ($p = 0,004$).

Нами рассчитано пороговое значение ЧСС ≤ 116 уд/мин для всего эмбрионального периода в целом (Se 52,9%, Sp 87,5%, PPV 31,9%, PNV 94%).

Отношение правдоподобия положительного результата составило 4,2 (т.е. в 4,2 раза возрастает шанс гибели эмбриона в случае положительного теста). Для наглядности на рис. 5 представлено распределение случаев гибели эмбриона в зависимости от ЧСС без разделения на недели беременности.

ОБСУЖДЕНИЕ

Анализ значений ЧСС в разные сроки беременности по ПМ в группе нормальных исходов (2-я группа) и позднее погибших эмбрионов (1-я группа) показал достоверность различий ЧСС между группами, причем для позднее погибших эмбрионов оказалось характерным снижение ЧСС. Важным результатом проведенного исследования представляется отсутствие достоверных различий ЧСС между группами в разные сроки беременности, рассчитанной по КТР (достоверные различия наблюдались только в течение двухнедельного промежутка 8^{+0} – 9^{+6} нед). Возможно, это связано с тем, что особенностью “обреченных на гибель” эмбрионов является не только брадикардия, но и задержка их роста, проявляющаяся в несоответствии КТР истинному сроку беременности.

Мы планируем провести анализ этой гипотезы в наших дальнейших исследованиях. Таким образом, мы считаем, что при использовании ЧСС как маркера неблагоприятного исхода срок беременности нужно рассчитывать по ПМ, а не по КТР.

Также, с нашей точки зрения, нецелесообразно использовать показатель ЧСС в качестве прогноза неблагоприятного исхода в самые ранние сроки беременности, а именно в 5^{+0} – 5^{+6} нед, вне зависимости от того, каким именно образом рассчитан срок – по ПМ или по КТР. Также представляется нецелесообразным прогнозировать неблагоприятный исход беременности в сроки >10

нед, когда нам уже практически не встречались эпизоды брадикардии. Можно предположить, что к этому сроку беременности, когда завершен эмбриональный период, уже реализуются практически все неблагоприятные исходы ранних сроков беременности.

Рассчитанные нами пороговые значения отличаются от пороговых значений других авторов, предлагавших как более высокие показатели: <120 уд/мин [6], <128 уд/мин [9], <130 уд/мин [7], так и значительно более низкие – 111 уд/мин [8]. Полученные нами данные в разные сроки беременности также отличаются от результатов наших собственных исследований, проведенных на значительно меньшей группе беременных. Вместе с тем предложенное нами пороговое значение для любого срока беременности ≤ 116 уд/мин почти не отличается от соответствующего порогового значения <117 уд/мин из наших предыдущих исследований [19, 20].

Следует также подчеркнуть, что в действующих клинических рекомендациях Минздрава РФ “Выкидыш (самопроизвольный аборт)” (2021) отсутствуют данные об использовании ЧСС эмбриона в качестве предиктора неблагоприятного исхода беременности [23], что свидетельствует, по нашему мнению, о целесообразности дальнейших исследований в этой области.

Одним из результатов проведенного исследования оказались достоверные отличия в возрасте между беременными 1-й и 2-й группы. Мы считаем целесообразным использовать эти данные в качестве дополнительных критериев неблагоприятного исхода в наших дальнейших исследованиях.

ВЫВОДЫ

1. Использование предложенных пороговых значений ЧСС эмбриона для разных сроков беременности, рассчитанных по ПМ, может быть эффективно использовано для своевременного прогноза неблагоприятного исхода беременности с дальнейшей разработкой соответствующей тактики [4].

2. Возможно использование порогового значения ЧСС <116 уд/мин, рассчитанного для всего эмбрионального периода. Все предложенные пороговые значения ЧСС имеют высокую специфичность.

3. Вместе с тем ни одно из предложенных пороговых значений ЧСС не имеет высокой чувствительности, повысить которую, с нашей точки зрения, может его использование в сочетании с другими ультразвуковыми и клиническими маркерами неблагоприятного исхода беременности в эмбриональном периоде. Это является целью наших дальнейших исследований, о результатах которых будет доложено в последующих публикациях.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Grisolia G., Milano K., Pilu G. et al. Biometry of early pregnancy with transvaginal sonography. *Ultrasound Obstet. Gynecol.* 1993; 3 (6): 403–411. <https://doi.org/10.1046/j.1469-0705.1993.03060403.x>
2. Акушерство: Национальное руководство. 2-е изд., перераб. и доп. / Под ред. Г.М. Савельевой, Г.Т. Сухих, В.Н. Серова, В.Е. Радзинского. М.: ГЭОТАР-Медиа, 2022. 1080 с. ISBN 978-5-9704-6632-2
3. Алтынник Н.А., Медведев М.В. Скрининговое ультразвуковое исследование в 11–14 недель беременности: Учебное пособие. М.: Реал Тайм, 2016: 168–176.
4. Тимакина Д.Н., Буланов М.Н. Маркеры неблагоприятного исхода беременности при ультразвуковом исследовании в эмбриональном периоде: литературный обзор и собственные клинические наблюдения. *Ультразвуковая и функциональная диагностика.* 2023; 4: 67–95. <https://doi.org/10.24835/1607-0771-2023-4-67-95>
5. Ouyang Y., Qin J., Lin G. et al. Reference intervals of gestational sac, yolk sac, embryonic length, embryonic heart rate at 6–10 weeks after in vitro fertilization-embryo transfer. *BMC Pregnancy Childbirth.* 2020; 20 (1): 533. <https://doi.org/10.1186/s12884-020-03186-2>
6. Chittacharoen A., Herabutya Y. Slow fetal heart rate may predict pregnancy outcome in first-trimester threatened abortion. *Fertil. and Steril.* 2004; 82 (1): 227–229. <https://doi.org/10.1016/j.fertnstert.2003.12.026>
7. Dede F.S., Ulucay U., Kose M.F. et al. Fetal loss in threatened abortion after demonstration of fetal cardiac activity in a low socioeconomic population. *J. Obstet. Gynaecol.* 2010; 30 (6): 622–625. <https://doi.org/10.3109/01443615.2010.489164>
8. El-Mekkawi Sh.F., El-Shanawy H., Alyamni O.M. Prediction of spontaneous miscarriage risk by the use of first trimester ultrasound measurements and maternal serum progesterone level at the 7th week of pregnancy. *Middle East Fertility Society Journal.* 2015; 20 (1): 16–20. <https://doi.org/10.1016/j.mefs.2014.04.006>
9. Datta M.R., Raut A. Efficacy of first-trimester ultrasound parameters for prediction of early spontaneous abortion. *Int. J. Gynaecol. Obstet.* 2017; 138 (3): 325–330. <https://doi.org/10.1002/ijgo.12231>
10. Блинов А.Ю., Емельяненко Е.С. Атлас по ультразвуковой диагностике в акушерстве (эхограммы с комментариями): Практическое пособие для врачей. М.: МЕДпресс-информ, 2024. 26 с.
11. Taylor T.J., Quinton A.E., de Vries B.S., Hyett J.A. First-trimester ultrasound features associated with subsequent miscarriage: A prospective study. *Aust. N. Z. J. Obstet. Gynaecol.* 2019; 59 (5): 641–648. <https://doi.org/10.1111/ajo.12944>
12. Sakamoto A., Kamada Y., Kubo K. et al. Slow Fetal Heart Rate before Miscarriage in the Early First Trimester Predicts Fetal Aneuploidy in Women with Recurrent Pregnancy Loss. *Acta Med. Okayama.* 2018; 72 (1): 61–66. <https://doi.org/10.18926/AMO/55664>
13. Yi Y., Lu G., Ouyang Y. et al. A logistic model to predict early pregnancy loss following in vitro fertilization based on 2601 infertility patients. *Reprod. Biol. Endocrinol.* 2016; 14: 15. <https://doi.org/10.1186/s12958-016-0147-z>
14. Reus A.D., El-Harbachi H., Rousian M. et al. Early first-trimester trophoblast volume in pregnancies that result in live birth or miscarriage. *Ultrasound Obstet. Gynecol.* 2013; 42 (5): 577–584. <https://doi.org/10.1002/uog.13197>
15. Stamatopoulos N., Lu C., Casikar I. et al. Prediction of subsequent miscarriage risk in women who present with a viable pregnancy at the first early pregnancy scan. *Aust. N. Z. J. Obstet. Gynaecol.* 2015; 55 (5): 464–472. <https://doi.org/10.1111/ajo.12395>
16. Makrydimas G., Sebire N.J., Lolis D. et al. Fetal loss following ultrasound diagnosis of a live fetus at 6–10 weeks of gestation. *Ultrasound Obstet. Gynecol.* 2003; 22 (4): 368–372. <https://doi.org/10.1002/uog.204>
17. Altay M.M., Yaz H., Haberal A. The assessment of the gestational sac diameter, crown-rump length, progesterone and fetal heart rate measurements at the 10th gestational week to predict the spontaneous abortion risk. *J. Obstet. Gynaecol. Res.* 2009; 35 (2): 287–292. <https://doi.org/10.1111/j.1447-0756.2008.00927.x>
18. Wie J.H., Choe S., Kim S.J. et al. Sonographic Parameters for Prediction of Miscarriage: Role of 3-Dimensional Volume Measurement. *J. Ultrasound Med.* 2015; 34 (10): 1777–1784. <https://doi.org/10.7863/ultra.15.14.09012>
19. Тимакина Д.Н., Буланов М.Н., Ефремов В.А. Возможность прогноза ранних пренатальных потерь на основании оценки сердечной деятельности эмбриона в различные сроки беременности. *Ультразвуковая и функциональная диагностика.* 2018; 3: s41.
20. Тимакина Д.Н., Буланов М.Н., Ефремов В.А. Изучение частоты сердцебиения эмбриона с расчетом порогового значения высокого риска ранних пренатальных потерь без учета точного срока беременности. *Ультразвуковая и функциональная диагностика.* 2018; 3: s.42
21. Salvesen K., Abramowicz J., Ter Haar G. et al.; Board of the International Society of Ultrasound in Obstetrics and Gynecology (ISUOG). ISUOG statement on the safe use of Doppler for fetal ultrasound examination in the first 13+6 weeks of pregnancy (updated). *Ultrasound Obstet. Gynecol.* 2021; 57 (6): 1020. <https://doi.org/10.1002/uog.23610>
22. Hothorn T., Hornik K., Zeileis A. Unbiased Recursive Partitioning: A Conditional Inference Framework. *J. Computational Graph. Stat.* 2006; 15 (3): 651–674. <https://doi.org/10.1198/106186006X133933>

23. Клинические рекомендации. Выкидыш (самопроизвольный аборт). Год утверждения (частота пересмотра): 2021. Разработчик клинической рекомендации Российское общество акушеров-гинекологов. Одобрено Научно-практическим советом Минздрава РФ.

REFERENCES

1. Grisolia G., Milano K., Pilu G. et al. Biometry of early pregnancy with transvaginal sonography. *Ultrasound Obstet. Gynecol.* 1993; 3 (6): 403–411. <https://doi.org/10.1046/j.1469-0705.1993.03060403.x>
2. Obstetrics: National guidelines / Eds Savelieva G.M., Suhiih G.T., Serov V.N., Radzinsky V.E. M.: GEOTAR-Media, 2022. 1080 p. ISBN 978-5-9704-6632-2 (In Russian)
3. Altynnik N.A., Medvedev M.V. Screening ultrasonic examination at 11–14 weeks of gestation: textbook. M.: Real Time. 2016: 168–176. (In Russian)
4. Timakina D.N., Bulanov M.N. Ultrasound markers of adverse pregnancy outcomes in embryonal period: literature review and own clinical cases. *Ultrasound & Functional Diagnostics.* 2023; 4: 67–95. <https://doi.org/10.24835/1607-0771-2023-4-67-95> (In Russian)
5. Ouyang Y., Qin J., Lin G. et al. Reference intervals of gestational sac, yolk sac, embryonic length, embryonic heart rate at 6–10 weeks after in vitro fertilization-embryo transfer. *BMC Pregnancy Childbirth.* 2020; 20 (1): 533. <https://doi.org/10.1186/s12884-020-03186-2>
6. Chittacharoen A., Herabutya Y. Slow fetal heart rate may predict pregnancy outcome in first-trimester threatened abortion. *Fertil. and Steril.* 2004; 82 (1): 227–229. <https://doi.org/10.1016/j.fertnstert.2003.12.026>
7. Dede F.S., Ulucay U., Kose M.F. et al. Fetal loss in threatened abortion after demonstration of fetal cardiac activity in a low socioeconomic population. *J. Obstet. Gynaecol.* 2010; 30 (6): 622–625. <https://doi.org/10.3109/01443615.2010.489164>
8. El-Mekkawi Sh.F., El-Shanawy H., Alyamni O.M. Prediction of spontaneous miscarriage risk by the use of first trimester ultrasound measurements and maternal serum progesterone level at the 7th week of pregnancy. *Middle East Fertility Society Journal.* 2015; 20 (1): 16–20. <https://doi.org/10.1016/j.mefs.2014.04.006>
9. Datta M.R., Raut A. Efficacy of first-trimester ultrasound parameters for prediction of early spontaneous abortion. *Int. J. Gynaecol. Obstet.* 2017; 138 (3): 325–330. <https://doi.org/10.1002/ijgo.12231>
10. Blinov A.Yu., Emel'yanenko E.S. Atlas of ultrasound diagnostics in obstetrics (echograms with comments): A practical guide for doctors. M.: MEDpress-inform, 2024. 26 p. (In Russian)
11. Taylor T.J., Quinton A.E., de Vries B.S., Hyett J.A. First-trimester ultrasound features associated with subsequent miscarriage: A prospective study. *Aust. N. Z. J. Obstet. Gynaecol.* 2019; 59 (5): 641–648. <https://doi.org/10.1111/ajo.12944>
12. Sakamoto A., Kamada Y., Kubo K. et al. Slow Fetal Heart Rate before Miscarriage in the Early First Trimester Predicts Fetal Aneuploidy in Women with Recurrent Pregnancy Loss. *Acta Med.* Okayama. 2018; 72 (1): 61–66. <https://doi.org/10.18926/AMO/55664>
13. Yi Y., Lu G., Ouyang Y. et al. A logistic model to predict early pregnancy loss following in vitro fertilization based on 2601 infertility patients. *Reprod. Biol. Endocrinol.* 2016; 14: 15. <https://doi.org/10.1186/s12958-016-0147-z>
14. Reus A.D., El-Harbach H., Rousian M. et al. Early first-trimester trophoblast volume in pregnancies that result in live birth or miscarriage. *Ultrasound Obstet. Gynecol.* 2013; 42 (5): 577–584. <https://doi.org/10.1002/uog.13197>
15. Stamatopoulos N., Lu C., Casikar I. et al. Prediction of subsequent miscarriage risk in women who present with a viable pregnancy at the first early pregnancy scan. *Aust. N. Z. J. Obstet. Gynaecol.* 2015; 55 (5): 464–472. <https://doi.org/10.1111/ajo.12395>
16. Makrydimas G., Sebire N.J., Lolis D. et al. Fetal loss following ultrasound diagnosis of a live fetus at 6–10 weeks of gestation. *Ultrasound Obstet. Gynecol.* 2003; 22 (4): 368–372. <https://doi.org/10.1002/uog.204>
17. Altay M.M., Yaz H., Haberal A. The assessment of the gestational sac diameter, crown-rump length, progesterone and fetal heart rate measurements at the 10th gestational week to predict the spontaneous abortion risk. *J. Obstet. Gynaecol. Res.* 2009; 35 (2): 287–292. <https://doi.org/10.1111/j.1447-0756.2008.00927.x>
18. Wie J.H., Choe S., Kim S.J. et al. Sonographic Parameters for Prediction of Miscarriage: Role of 3-Dimensional Volume Measurement. *J. Ultrasound Med.* 2015; 34 (10): 1777–1784. <https://doi.org/10.7863/ultra.15.14.09012>
19. Timakina D.N., Bulanov M.N., Efremov V.A. Possibility of early prenatal loss prediction based on assessment of embryo heart function in different gestation terms. *Ultrasound and Functional Diagnostics.* 2018; 3: s41. (In Russian)
20. Timakina D.N., Bulanov M.N., Efremov V.A. Study of embryo heart rate with calculation of threshold for high risk of early prenatal losses without taking into account of exact gestation term. *Ultrasound and Functional Diagnostics.* 2018; 3: s. 42. (In Russian)
21. Salvesen K., Abramowicz J., Ter Haar G. et al.; Board of the International Society of Ultrasound in Obstetrics and Gynecology (ISUOG). ISUOG statement on the safe use of Doppler for fetal ultrasound examination in the first 13+6 weeks of pregnancy (updated). *Ultrasound Obstet. Gynecol.* 2021; 57 (6): 1020. <https://doi.org/10.1002/uog.23610>
22. Hothorn T., Hornik K., Zeileis A. Unbiased Recursive Partitioning: A Conditional Inference Framework. *J. Computational Graph. Stat.* 2006; 15 (3): 651–674. <https://doi.org/10.1198/106186006X133933>
23. Clinical guidelines. Miscarriage (spontaneous abortion). Year of approval (revision frequency): 2021. Clinical practice guideline developer – Russian Society of Obstetrician and Gynecologists Approved by the Applied Research Council, Ministry of Health of the Russian Federation. (In Russian)

Ultrasound assessment of embryo cardiac function as a predictive criterion of adverse pregnancy outcome

D.N. Timakina^{1, 2*}, M.N. Bulanov^{3, 4}, V.A. Efremov⁵

¹ F.I. Inozemtsev City Clinical Hospital of Moscow Healthcare Department; 1, Fortunatovskaya str., Moscow 105187, Russian Federation

² Clinic Good Doctor; 90, bld. 2, Krasnobogatyrskaya str., Moscow 107076, Russian Federation

³ Regional Clinical Hospital; 21, Sudogodskoye shosse, Vladimir 600023, Russian Federation

⁴ Yaroslav-the-Wise Novgorod State University; 41, Bolshaya St. Petersburgskaya str., Veliky Novgorod 173003, Russian Federation

⁵ Immanuel Kant Baltic Federal University; 14, A. Nevskogo str., Kaliningrad 236041, Russian Federation

Darya N. Timakina – M.D., Head of Good Doctor LLC; ultrasound diagnostics doctor of Maternity Welfare Center №2, F.I. Inozemtsev City Clinical Hospital of Moscow Healthcare Department, Moscow. <https://orcid.org/0009-0000-2412-628X>

Mikhail N. Bulanov – Doct. of Sci. (Med.), Head of Ultrasound Diagnostics Department, Regional Clinical Hospital, Vladimir; Professor, Division of Internal Medicine, Institute of Medical Education, Yaroslav-the-Wise Novgorod State University, Veliky Novgorod. <https://orcid.org/0000-0001-8295-768X>

Vladimir A. Efremov – Cand. of Sci. (Phys.-Math.), researcher, Scientific Research Institute of Applied Informatics and Mathematical Geophysics, Immanuel Kant Baltic Federal University, Kaliningrad. <https://orcid.org/0009-0009-2432-381X>

Correspondence* to Dr. Darya N. Timakina – e-mail: clinicgooddoctor@gmail.com

Purpose to evaluate the value of the embryo/fetus heart rate (HR) in early pregnancy assessed by ultrasound for the formation of a group at high risk of adverse pregnancy outcomes.

Materials and methods. A retrospective analysis of ultrasound examinations of 1073 pregnant women at 5⁺⁰–10⁺⁶ weeks was carried out. The embryo/fetus heart rate was compared with the gestational age calculated by the crown rump length (CRL) and the date of the last menstruation period (LMP). Retrospectively, all examined pregnant women were divided into two groups: group 1—with intrauterine embryo death before 14 weeks of pregnancy (n = 107); group 2—with prolongation of pregnancy until the second trimester (n = 966). When analyzing the data array using a decision tree, the embryo heart rate was assessed at various stages of pregnancy by LMP, CRL, and regardless of the exact period of pregnancy.

Results. Analysis of heart rate values at different stages of pregnancy by LMP showed significant differences in heart rate between groups, the cases of later embryo loss characterized by lower heart rate values. There were no significant differences in heart rate between the groups at different stages of pregnancy by CRL (significant differences were obtained only at 8+0–9+6 weeks). Cut-off values of embryo heart rate for prediction of adverse pregnancy outcomes have been proposed for different stages of pregnancy, as well as a universal cut-off for the entire embryonic period.

Conclusion. The proposed cut-off values of embryo heart rate for different stages of pregnancy, calculated by LMP, may be used for timely prediction of adverse pregnancy outcomes. When the exact gestational age is unknown, a universal heart rate cut-off value of <116 bpm may be used. All proposed HR cut-off values were characterized by high specificity, but none of them by high sensitivity. A sensitivity of HR cut-off values can be increased by the use in combination with other ultrasound and clinical signs of adverse pregnancy outcome.

Keywords: ultrasound diagnostics; non-developing pregnancy; ultrasound markers; embryo heart rate

Conflict of interests. The authors have no conflicts of interest to declare.

Financing. This study had no sponsorship.

Citation: Timakina D.N., Bulanov M.N., Efremov V.A. Ultrasound assessment of embryo cardiac function as a predictive criterion of adverse pregnancy outcome. *Ultrasound and Functional Diagnostics*. 2024; 3: 61–74. <https://doi.org/10.24835/1607-0771-272> (In Russian)

ISSN 1607-0771(Print); ISSN 2408-9494 (Online)

<https://doi.org/10.24835/1607-0771-282>

Сравнение методов 2D и 3D с использованием режима HDlive ультразвуковой визуализации в диагностике полипов эндометрия при бесплодии

И.А. Озерская^{1*}, Е.В. Минашкина², Е.В. Ожогина², Г.Г. Казарян³

¹ ФГАОУ ВО “Российский университет дружбы народов имени Патриса Лумумбы” Минобрнауки России; 117198 Москва, ул. Миклухо-Маклая, 6, Российская Федерация

² Центр репродукции и генетики “Нова Клиник” ООО “МедИнСервис”; 119048 Москва, ул. Усачева, д. 33, стр. 4, Российская Федерация

³ ООО “Медскан”; 119421 Москва, ул. Обручева, д. 21А, Российская Федерация

Цель исследования: сравнить методы 2D- и 3D-сканирования с использованием режима HDlive для диагностики полипов эндометрия при бесплодии.

Материал и методы. Проведено ретроспективное когортное исследование женщин, страдающих бесплодием, наблюдавшихся в Центре репродукции и генетики “Нова Клиник” в период с января 2021 г. по июнь 2024 г. В исследование было включено 116 женщин репродуктивного возраста от 29 до 43 лет (средний возраст $36,9 \pm 3,78$ года). Всем пациенткам проводилось ультразвуковое исследование с использованием методов 2D и 3D. Окончательный вывод о наличии или отсутствии патологии формировался на основании результатов исследования методом 3D с использованием режима HDlive. Диагноз верифицировался путем проведения гистологического исследования полипа после гистерорезектоскопии.

Результаты. У 5 (4,3%) пациенток результаты гистероскопии показали отсутствие патологии. При этом результаты 2D также были отрицательные, а результаты 3D – положительные. У остальных 111 (95,7%) пациенток диагноз полипа при гистероскопии был подтвержден. Среди них у 19 (16,4%) пациенток по данным ультразвукового исследования методом 2D патология не была обнаружена. На основании полученных данных установлено, что использование метода 3D с режимом HDlive приводит к гипердиагностике и получению ложноположительных результатов с шансом 4,5%. Использование метода 2D, напротив, приводит к гиподиагностике и получению ложноотрицательных результатов с шансом 19,6%, что статистически значимо выше, чем шанс ошибочного ложноположительного результата с использованием метода 3D ($p = 0,008$). Таким образом, шанс ошибочного результата с использованием метода 2D в 4,4 [1,57; 12,09] раза выше, чем с использованием метода 3D.

Озерская Ирина Аркадиевна – доктор мед. наук, профессор, профессор кафедры ультразвуковой диагностики факультета непрерывного медицинского образования медицинского института ФГАОУ ВО “Российский университет дружбы народов имени Патриса Лумумбы” Минобрнауки России, Москва. <https://orcid.org/0000-0001-8929-6001>

Минашкина Елена Владимировна – врач ультразвуковой диагностики Центра репродукции и генетики “Нова Клиник” ООО “МедИнСервис”, Москва. <https://orcid.org/0009-0004-3548-7944>

Ожогина Екатерина Викторовна – канд. мед. наук, ведущий репродуктолог Центра репродукции и генетики “Нова Клиник” ООО “МедИнСервис”, Москва. <https://orcid.org/0009-0007-5205-2901>

Казарян Гаяне Геворковна – канд. мед. наук, заведующая отделением ультразвуковой диагностики ООО “Медскан”, Москва. <https://orcid.org/0000-0002-1198-8187>

Контактная информация*: Озерская Ирина Аркадиевна – e-mail: ozerskaya_usd@mail.ru

Заключение. Исследование продемонстрировало более высокую точность метода 3D по сравнению с 2D при диагностике полипов эндометрия.

Ключевые слова: 2D-ультразвуковое исследование; 3D-ультразвуковое исследование; HDlive; полип эндометрия

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии возможных конфликтов интересов.

Финансирование. Исследование проведено без спонсорской поддержки.

Цитирование: Озерская И.А., Минашкина Е.В., Ожогина Е.В., Казарян Г.Г. Сравнение методов 2D и 3D с использованием режима HDlive ультразвуковой визуализации в диагностике полипов эндометрия при бесплодии. *Ультразвуковая и функциональная диагностика*. 2024; 3: 75–82. <https://doi.org/10.24835/1607-0771-282>

ВВЕДЕНИЕ

В последние годы в нашей стране увеличивается количество циклов экстракорпорального оплодотворения [1]. В связи с этим отмечается повышенное внимание к состоянию эндометрия и полости матки. Полипы эндометрия являются частым гинекологическим заболеванием у женщин репродуктивного возраста; они встречаются у 40% женщин с бесплодием и представляют собой патологическую пролиферацию эндометрия, содержат железы, строму и кровеносные сосуды [2, 3].

Разные авторы исследовали корреляцию между хроническим эндометритом и полипами эндометрия, получив противоречивые результаты. Одни авторы считают наличие полипов звеном в патоморфологии хронического эндометрита [4–6], другие рассматривают их как отдельное заболевание [7]. Наличие полипов связано с повышенной вероятностью аномальной молекулярной экспрессии эндометрия, которая, как считается, ухудшает нишадацию и раннее развитие эмбриона [8], а также указывает на измененную рецептивность эндометрия, при которой снижается частота имплантаций эмбрионов и наступление беременности [9].

Трансвагинальное УЗИ является распространенным методом обнаружения полипов эндометрия, а цветовая доплерография повышает точность диагностики [10]. Чувствительность и специфичность трансвагинальной сонографии при выявлении полипов полости матки достигают 97% [2]. В связи с повышением возраста реализации репродуктивной функции и возрастающим вниманием к состоянию эндометрия в настоящее время доказана значимость дескрипторов Международной группы по анализу опухолей эндометрия (International

Endometrial Tumor Analysis, IETA) для диагностики хронического эндометрита [11].

Офисная гистероскопия показала высочайшую точность диагностики полипов у пациенток, страдающих бесплодием [12]. В ситуациях, когда диагностика полипа при трансвагинальном УЗИ остается под вопросом, соногистерография с физиологическим раствором или 3D-УЗИ могут рассматриваться в качестве альтернативных методов диагностической визуализации [13].

J.-М. Ayoubi и R. Fanchin в 2002 г. опубликовали результаты исследования с использованием техники “виртуальной эндоскопии”, основанной на данных 3D-гистеросонографии. Авторы отметили, что изображения, полученные с помощью этой методики, включая внутреннюю выстилку полости матки, практически идентичны изображениям, полученным при обычной гистероскопии. При этом гистеросальпингография, компьютерная томография и магнитно-резонансная томография (МРТ) не являются методами диагностики полипов эндометрия [14].

В настоящее время трансвагинальное УЗИ является диагностическим методом первой линии для выявления полипов эндометрия. Стандартным подходом для удаления полипов эндометрия является проведение офисной гистероскопии [13].

Качество визуализации на современных ультразвуковых сканерах улучшается год от года, кроме того, появляются новые технологии, позволяющие “видеть” точнее и детальнее.

Цель исследования: сравнить методы 2D- и 3D-сканирования с использованием режима HDlive для диагностики полипов эндометрия при бесплодии.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

Проведено ретроспективное когортное исследование женщин, страдающих бесплодием, наблюдавшихся в Центре репродукции и генетики “Нова Клиник” в период с января 2021 г. по июнь 2024 г. В исследование было включено 116 женщин репродуктивного возраста от 29 до 43 лет (средний возраст $36,9 \pm 3,78$ года). Всем пациенткам проводилось УЗИ с использованием методов 2D и 3D. Окончательный вывод о наличии или отсутствии патологии формировался на основании результатов исследования методом 3D. Диагноз верифицировался путем проведения гистологического исследования полипа после гистерорезектоскопии.

Пациентки направлялись врачом-репродуктологом на УЗИ органов малого таза. Исследование проводилось одним врачом на 5–13-й день менструального цикла. Использовались В-режим, цветовое доплеровское картирование и энергетический доплер, а также 3D-режим на ультразвуковой системе GE Women Health Care Voluson E8 (США). Трансабдоминальное сканирование осуществлялось конвексным датчиком с частотой 2,0–5,5 МГц. Частота трансвагинального ультразвукового датчика составила 7,5–9,0 МГц. 3D-сканирование проводилось в режиме поверхностной реконструкции, в том числе с использованием режима HDlive с оптимизацией изображения (общего усиления, устранения помех и шумов, виртуального омниоскопа с регулировкой источника света).

Трансвагинальное сканирование проводили в сагиттальной, парасагиттальной (продольной), коронарной (фронтальной) и аксиальной (поперечной) плоскостях.

Далее переходили к 3D-сканированию с использованием режима HDlive. После выполнения стандартных сканов производили забор объема и поверхностную реконструкцию матки. Исследовали коронарное (фронтальное) сечение (рис. 1) с дальнейшим изменением в сагиттальную и парасагиттальную плоскости, перемещаясь от правой стороны матки к левой (рис. 2). Следующее для оценки сечение – аксиальное (рис. 3). В этой плоскости осуществляли медленное передвижение от шейки матки к дну и обратно. Опция HDlive использует программно-настраиваемое освещение,

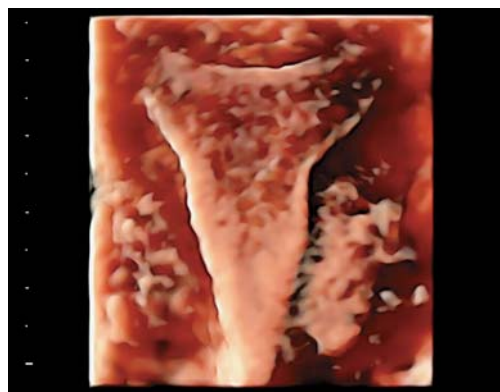


Рис. 1. Коронарное сечение полости матки. Объемная реконструкция в режиме HDlive. Норма (отсутствуют полипы эндометрия).
Fig. 1. Coronal plane of the uterine cavity in a healthy patient (endometrial polyps are absent). Volumetric reconstruction in HDlive mode.

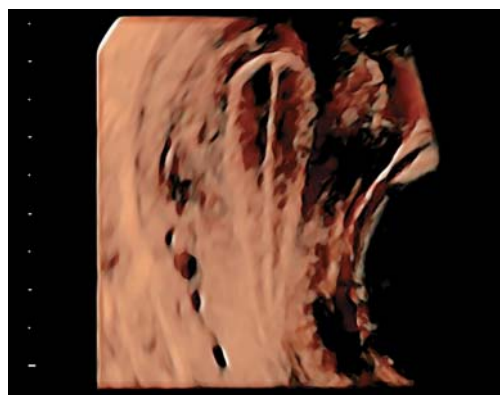


Рис. 2. Сагиттальное сечение полости матки. Объемная реконструкция в режиме HDlive. Норма (отсутствуют полипы эндометрия).
Fig. 2. Sagittal plane of the uterine cavity in a healthy patient (endometrial polyps are absent). Volumetric reconstruction in HDlive mode.

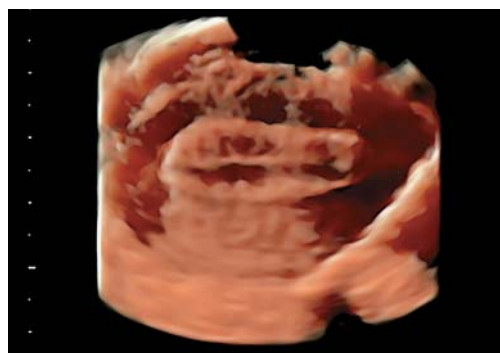


Рис. 3. Аксиальное сечение полости матки. Объемная реконструкция в режиме HDlive. Норма (отсутствуют полипы эндометрия).
Fig. 3. Axial plane of the uterine cavity in a healthy patient (endometrial polyps are absent). Volumetric reconstruction in HDlive mode.

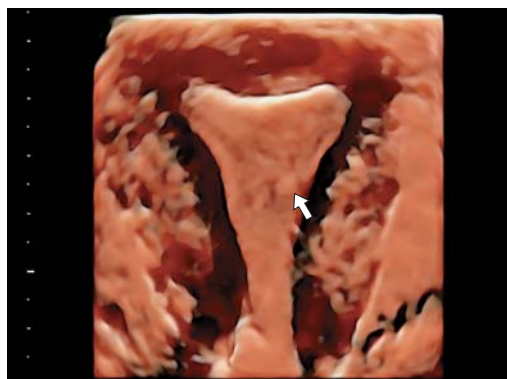


Рис. 4. Коронарное сечение полости матки. Объемная реконструкция в режиме HDlive. Полип в средней трети полости матки (стрелка).
Fig. 4. Coronal plane of the uterine cavity. Volumetric reconstruction in HDlive mode. A polyp in the middle third of the uterine cavity (arrow).

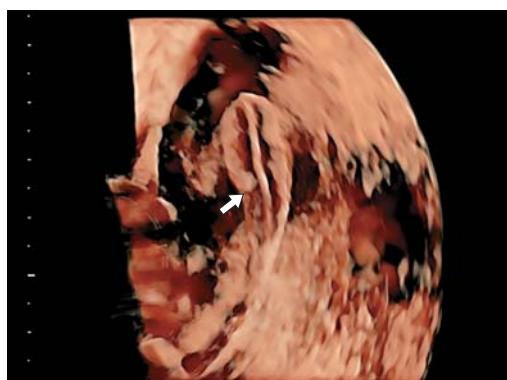


Рис. 5. Сагиттальное сечение полости матки. Объемная реконструкция в режиме HDlive. Полип в средней трети полости матки (стрелка).
Fig. 5. Sagittal plane of the uterine cavity. Volumetric reconstruction in HDlive mode. A polyp in the middle third of the uterine cavity (arrow).



Рис. 6. Аксиальное сечение полости матки. Объемная реконструкция в режиме HDlive. Полип в средней трети полости матки (стрелка), та же пациентка.
Fig. 6. Axial plane of the uterine cavity. Volumetric reconstruction in HDlive mode. A polyp in the middle third of the uterine cavity (arrow), the same patient.

которое создает тени и блики на объекте сканирования. Это помогает подчеркнуть глубину и контуры объекта, что важно при детальном визуальном анализе. Именно регулировка освещения полости матки позволяет видеть нюансы эндометрия.

Статистический анализ выполнен в программе Statistica 12. Результаты исследований методом 2D и 3D представлены в виде абсолютных частот и относительных долей от общего числа пациенток. Различия между методами оценивались с помощью критерия χ^2 МакНемара и отношения шансов с 95% доверительным интервалом. Пороговый уровень статистической значимости принят для $p < 0,05$.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

У 5 (4,3%) пациенток результаты гистероскопии показали отсутствие полипов эндометрия. При исследовании в 2D-режиме результаты также были отрицательные, а в 3D – положительные (рис. 4–6). У остальных 111 (95,7%) пациенток диагноз полипа при гистероскопии был подтвержден (рис. 7). Среди них у 19 (16,4%) пациенток по данным УЗИ методом 2D данная патология не была обнаружена. При проведении гистерорезектоскопии у 37 (31,9%) пациенток диагноз полипа эндометрия сочетался с хроническим эндометритом, что было подтверждено последующим гистологическим исследованием (рис. 8).

На основании полученных данных установлено, что метод 3D с использованием режима HDlive приводит к гипердиагностике и получению ложноположительных результатов с шансом 4,5%. Использование метода 2D, напротив, ведет к гиподиагностике и получению ложноотрицательных результатов с шансом 19,6%, что статистически значимо выше, чем шанс ошибочного ложноположительного результата с использованием метода 3D ($p = 0,008$). Таким образом, шанс ошибочного результата с использованием метода 2D в 4,35 [1,57; 12,09] раза выше, чем с использованием метода 3D (см. таблицу, рис. 9).



Рис. 7. Гистероскопия, полип в полости матки. Хирург А.Ф.Алекперова.

Fig. 7. Hysteroscopy, a polyp in the uterine cavity. The surgeon – A.F. Alekperova.



Рис. 8. Гистероскопия, полип в полости матки на фоне хронического эндометрита. Хирург А.Ф.Алекперова.

Fig. 8. Hysteroscopy, a polyp in the uterine cavity combined with chronic endometritis. The surgeon – A.F. Alekperova.

Таблица. Соотношение результатов УЗИ с использованием методов 2D и 3D с результатами гистероскопии
Table. The results of comparison of the results of 2D- and 3D-ultrasound with the hysteroscopy findings

Результат 3D Result 3D	Результат 2D Result 2D	Результат гистероскопии Hysteroscopy result	Частота, % Frequency, %
Положительный Positive	Положительный Positive	Положительный Positive	92 (79,3%)
		Отрицательный Negative	0
	Отрицательный Negative	Положительный Positive	19 (16,4%)
		Отрицательный Negative	5 (4,3%)

Примечание. $\chi^2 = 7,042$; $p = 0,008$; ОШ = 4,35 [1,57; 12,09].

Note. $\chi^2 = 7,042$; $p = 0,008$; OR = 4,35 [1,57; 12,09].

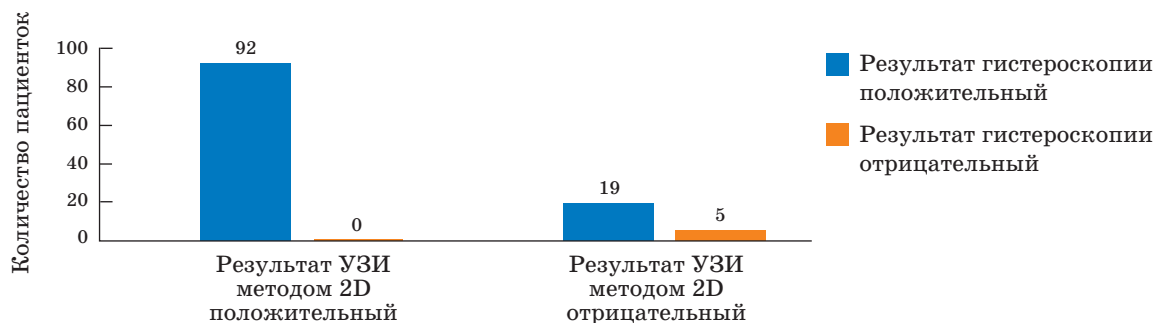


Рис. 9. Соотношение результатов ультразвуковых исследований и гистероскопии.

Fig. 9. The results of ultrasound versus the hysteroscopy findings.

ОБСУЖДЕНИЕ

Возможности современных ультразвуковых сканеров ставят ультразвуковой стандарт диагностики на очень высокий уровень. В некоторых направлениях гинекологического ультразвука, таких как выявление эндометриоза и аномалий матки, ультразвуковое исследование занимает лидирующие позиции наряду с МРТ [15, 16]. В некоторых клиниках репродукции 3D-сонография проводится рутинно всем пациенткам, проходящим УЗИ малого таза. К несомненным достоинствам данного метода относится возможность диагностики аномалий матки, оценка структуры миометрия и эндометрия. Объемные изображения помогают точно установить форму полости матки в случае необычного расположения ее тела, ротации или загиба, определить истинную толщину эндометрия, “заглянуть” в полость матки и оценить структуру эндометрия, используя оптимизацию изображения. Однако метод 3D-эхографии не может рассматриваться как противопоставление 2D-сканированию, которое является базисным. Оба метода дополняют друг друга и вместе позволяют достигнуть более точного диагностического результата.

Отдельное место в диагностических режимах занимает режим HDlive. Он позволяет оценивать структуру внутренней стенки полости матки практически до момента овуляции, является надежным инструментом в исследовании структуры эндометрия в перiovуляторном периоде, а также дает четкую детализацию изображения при поиске полипов и внутриматочных синехий [17, 18]. В режиме HDlive эндометрий в первую фазу менструального цикла имеет гипоэхогенный слой, на фоне которого и происходит визуализация экзогенного полипа. Во вторую фазу менструального цикла экзогенность эндометрия настолько высока, что различить на ее фоне полипа не представляется возможным.

Особенностью ультразвуковых исследований полости матки в репродуктивной медицине является поиск полипов эндометрия малых размеров. Самым частым сочетанием патологий бывает полип эндометрия и хронический эндометрит. В решении именно этой трудной диагностической задачи используется режим HDlive.

В настоящее время диагностика хронического эндометрита базируется на 2D-эхографии в сочетании с 3D-доплерометрией [19]. Назрела необходимость изучения возможности применения режима трехмерной эхографии, в том числе режима HDlive в качестве дополнительного диагностического инструмента выявления хронического эндометрита в раннюю пролиферативную фазу менструального цикла. В результате проведенного исследования выявлена гиподиагностика полипов эндометрия в 2D-режиме, что делает обоснованным использование 3D-режима. Однако с применением 3D-реконструкции возможно получение ложноположительных результатов, но диагностическая точность 3D-эхографии с использованием режима HDlive в поиске полипов эндометрия выше, чем при рутинном 2D-исследовании. Таким образом очевидно, что использованием различных методов и режимов ультразвуковой диагностики повышает качество детального изучения эндометрия.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Использование 3D-сонографии с режимом HDlive и оптимизацией изображения является важным звеном диагностики полипов эндометрия. Шанс ошибочного результата, полученного при 2D-сканировании, в 4,4 раза выше, чем с использованием метода 3D. Применение современных технологий ультразвуковых сканеров повышает точность визуализации, что сокращает время установления диагноза, уменьшает количество визитов пациентки к врачу, приводит к быстрому началу патогенетического лечения и экономически выгодно для системы здравоохранения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ [REFERENCES]

1. Корсак В.С., Смирнова А.А., Шурыгина О.В. Регистр ВРТ Общероссийской общественной организации “Российская Ассоциация репродукции человека”. Отчет за 2020 год. *Проблемы репродукции*. 2022; 28 (6): 12–27. <https://doi.org/10.17116/repro20222806112>
Korsak V.S., Smirnova A.A., Shurygina O.V. ART Register of RAHR, 2020. *Russian Journal of Human Reproduction*. 2022; 28 (6): 12–27.

- <https://doi.org/10.17116/repro20222806112> (In Russian)
- Shalev J., Meizner I., Bar-Hava I. et al. Predictive value of transvaginal sonography performed before routine diagnostic hysteroscopy for evaluation of infertility. *Fertil. and Steril.* 2000; 73 (2): 412–417. [https://doi.org/10.1016/S0015-0282\(99\)00533-6](https://doi.org/10.1016/S0015-0282(99)00533-6)
 - Vaduva C.C., Constantinescu C., Serbanescu M. et al. The association between endometrial polyps, chronic endometritis, and IVF outcomes. *Eur. Rev. Med. Pharmacol. Sci.* 2023; 27 (18): 8895–8904. https://doi.org/10.26355/eurev_202309_33810
 - Qu D., Liu Y., Zhou H., Wang Z. Chronic endometritis increases the recurrence of endometrial polyps in premenopausal women after hysteroscopic polypectomy. *BMC Women's Health.* 2023; 23 (1): 88. <https://doi.org/10.1186/s12905-023-02232-3>
 - Cicinelli E., Bettocchi S., de Ziegler D. et al. Chronic Endometritis, a Common Disease Hidden Behind Endometrial Polyps in Premenopausal Women: First Evidence From a Case-Control Study. *J. Minim. Invasive Gynecol.* 2019; 26 (7): 1346–1350. <https://doi.org/10.1016/j.jmig.2019.01.012>
 - Vitagliano A., Cialdella M., Cicinelli R. et al. Association between Endometrial Polyps and Chronic Endometritis: Is It Time for a Paradigm Shift in the Pathophysiology of Endometrial Polyps in Pre-Menopausal Women? Results of a Systematic Review and Meta-Analysis. *Diagnostics (Basel).* 2021; 11 (12): 2182. <https://doi.org/10.3390/diagnostics11122182>
 - Wei L., Zhao Y., Xu S., Zhang C. Association Between Endometritis and Endometrial Polyp: A Mendelian Randomization Study. *Int. J. Women's Health.* 2023; 15: 1963–1970. <https://doi.org/10.2147/IJWH.S434299>
 - Munro M.G. Uterine polyps, adenomyosis, leiomyomas, and endometrial receptivity. *Fertil. and Steril.* 2019; 111 (4): 629–640. <https://doi.org/10.1016/j.fertnstert.2019.02.008>
 - Ozyurt R., Turktekin N. Endometrial polyps prevent embryo implantation via creatine and lactate pathways. *Eur. Rev. Med. Pharmacol. Sci.* 2022; 26 (9): 3278–3281. https://doi.org/10.26355/eurev_202205_28746
 - Gui Y., Wang L., Gao T., et al. Ultrasonic Imaging Combined with Hysteroscopy in Diagnosis of Endometrial Polyps Based on Multioperator Algorithm and Analysis of Nerve Growth Factor Receptor Transmembrane Protein Expression. *Wld Neurosurg.* 2021; 149: 413–419. <https://doi.org/10.1016/j.wneu.2020.10.137>
 - Озерская И.А., Казарян Г.Г., Минашкина Е.В., Гус А.И. Использование дескрипторов Международной группы по анализу опухолей эндометрия (International Endometrial Tumor Analysis, IETA) для диагностики хронического эндометрита. *Ультразвуковая и функциональная диагностика.* 2023; 3: 50–66. <https://doi.org/10.24835/1607-0771-2023-3-50-66>
 - Ozerskaya I.A., Kazaryan G.G., Minashkina E.V., Gus A.I. International Endometrial Tumor Analysis (IETA) descriptors in the diagnosis of chronic endometritis. *Ultrasound & Functional Diagnostics.* 2023; 3: 50–66. <https://doi.org/10.24835/1607-0771-2023-3-50-66> (In Russian)
 - Vitale S.G., Haimovich S., Laganà A.S. et al. From the Global Community of Hysteroscopy Guidelines Committee Endometrial polyps. An evidence-based diagnosis and management guide. *Eur. J. Obstet. Gynecol. Reprod. Biol.* 2021; 260: 70–77. <https://doi.org/10.1016/j.ejogrb.2021.03.017>
 - Ludwin A., Lindheim S.R., Booth R., Ludwin I. Removal of uterine polyps: clinical management and surgical approach. *Climacteric.* 2020; 23 (4): 388–396. <https://doi.org/10.1080/13697137.2020.1784870>
 - Ayoubi J.M., Fanchin R., Ferretti G., Pons J.C., Bricault I. Three-dimensional ultrasonographic reconstruction of the uterine cavity: toward virtual hysteroscopy? *Eur. Radiol.* 2002; 12 (8): 2030–2033. <https://doi.org/10.1007/s00330-001-1160-x>
 - Адамян Л.В., Панов В.О., Макиян З.Н., Кулабухова Е.А., Панова М.М., Сташук Г.А., Степанян А.А. Магнитно-резонансная томография в дифференциальной диагностике аномалий матки и влагалища: алгоритм исследования и МРТ семиотика. *Медицинская визуализация.* 2009; 6: 100–113. Adamyan L.V., Panov V.O., Makiyan Z.N. et al. Magnetic Resonance Imaging in the Differential Diagnosis Anomalies of the Uterus and Vagina: Algorithm Research and MRI Semiotics. *Medical Visualization.* 2009; (6): 100–113. (In Russian)
 - Moldassarina R.S. Modern view on the diagnostics and treatment of adenomyosis. *Arch. Gynecol. Obstet.* 2023; 308 (1): 171–181. <https://doi.org/10.1007/s00404-023-06982-1>
 - Saravelos S.H., Li T.C. Virtual hysteroscopy with HDlive. *Ultrasound Obstet. Gynecol.* 2017; 49 (2): 284–286. <https://doi.org/10.1002/uog.15853>
 - Kim M.J., Lee Y., Lee C. et al. Accuracy of three dimensional ultrasound and treatment outcomes of intrauterine adhesion in infertile women. *Taiwan. J. Obstet. Gynecol.* 2015; 54 (6): 737–741. <https://doi.org/10.1016/j.tjog.2015.10.011>
 - Озерская И.А., Казарян Г.Г. Ультразвуковая диагностика эндометрита: особенности кровоснабжения разных морфологических типов. *Вестник РУДН. Серия Медицина.* 2019; 23 (2): 147–155. <https://doi.org/10.22363/2313-0245-2019-23-2-147-155>
 - Ozerskaya I.A., Kazaryan G.G. Endometritis Ultrasound Diagnosis: Features of Blood Supply of Different Morphological Types. *RUDN Journal. Series: Medicine.* 2019; 23 (2): 147–155.

A comparison of 2D and 3D with the use of HDlive mode imaging in the diagnosis of endometrial polyps in infertility

I.A. Ozerskaya^{1*}, E.V. Minashkina², E.V. Ozhogina², G.G. Kazaryan³

***¹ Peoples' Friendship University of Russia named after Patrice Lumumba;
6, Miklukho-Maklay str., Moscow 117198, Russian Federation***

***² Center for Reproduction and Genetics "Nova Clinic" LLC "MedInService";
33/4, Usacheva str., Moscow 119048, Russian Federation***

³ LLC "Medskan"; 21A, Obrucheva str., Moscow 119421, Russian Federation

Irina A. Ozerskaya – Doct. of Sci. (Med.), Professor, Professor of the Department of Ultrasound Diagnostics of the Faculty of Continuing Medical Education of the Medical Institute of the Peoples' Friendship University of Russia named after Patrice Lumumba (RUDN University), Moscow. <https://orcid.org/0000-0001-8929-6001>

Elena V. Minashkina – ultrasound diagnostic doctor of Center for Reproduction and Genetics "Nova Clinic" LLC "MedInService", Moscow. <https://orcid.org/0009-0004-3548-7944>

Ekaterina V. Ozhogina – Cand. of Sci. (Med.), lead reproductive specialist, Center for Reproduction and Genetics "Nova Clinic" LLC "MedInService", Moscow. <https://orcid.org/0009-0007-5205-2901>

Gayane G. Kazaryan – Cand. of Sci. (Med.), Head of the department of ultrasound, LLC "Medskan", Moscow. <https://orcid.org/0000-0002-1198-8187>

Correspondence* to Dr. Irina A. Ozerskaya – e-mail: ozerskaya_usd@mail.ru

Objective: to compare 2D ultrasound and 3D with HDlive mode ultrasound in the diagnosis of endometrial polyps in infertility.

Material and methods. The retrospective cohort study included 116 women aged 29 to 43 years (mean age 36.9 ± 3.78) with infertility who were observed at the Nova Clinic Center for Reproduction and Genetics from January 2021 to June 2024. 2D and 3D ultrasounds were performed in all patients. The final conclusion on the presence or absence of pathology was based on the results of the 3D study with HDlive mode. The histological verification of polyps was carried out after hysteroscopy.

Results. Hysteroscopy revealed no signs of pathology in 5 (4.3%) patients; moreover, the results of 2D imaging were also negative, and the results of 3D imaging were positive. In other 111 cases (95.7%), the diagnosis of a polyp was confirmed on hysteroscopy. Among them, no signs of pathology were found on 2D ultrasound in 19 (16.4%) patients. According to the obtained results, the use of 3D imaging with HDlive mode leads to overdiagnosis and false positive results with a chance of 4.5%. On the contrary, 2D imaging leads to underdiagnosis and false negative results with a chance of 19.6%, which is statistically significantly higher than the chance of a false positive result using the 3D method ($p = 0.008$). Thus, the chance of a false result using the 2D mode is 4.4 [1.57; 12.09] times higher than using the 3D mode.

Conclusions. The study demonstrated a higher accuracy of the 3D ultrasound compared to 2D ultrasound in diagnosing endometrial polyps.

Keywords: 2D ultrasound; 3D ultrasound; HDlive; endometrial polyp

Conflict of interests. The authors have no conflicts of interest to declare.

Financing. This study had no sponsorship.

Citation: Ozerskaya I.A., Minashkina E.V., Ozhogina E.V., Kazaryan G.G. A comparison of 2D and 3D with the use of HDlive mode imaging in the diagnosis of endometrial polyps in infertility. *Ultrasound and Functional Diagnostics*. 2024; 3: 75–82. <https://doi.org/10.24835/1607-0771-282> (In Russian)