

## Новый алгоритм оценки диастолической дисфункции левого желудочка по данным одноканальной электрокардиограммы с использованием машинного обучения

© Н.О. КУЗНЕЦОВА, Ж.Н. САГИРОВА, А.Ю. ГУБИНА, И.П. ЗАХАРОВ, З.З.А. ФАШАФША, Е.А. СЫРКИНА, П.Ш. ЧОМАХИДЗЕ, Ф.Ю. КОПЫЛОВ

ФГАОУ ВО «Первый Московский государственный медицинский университет им. И.М. Сеченова» Минздрава России (Сеченовский Университет), Москва, Россия

### Резюме

**Цель исследования.** Определение диагностической точности алгоритма выявления клинически значимой (2-й и 3-й ст.) диастолической дисфункции левого желудочка (ЛЖ) с помощью анализа одноканальной электрокардиограммы, разработанного на основе элементов машинного обучения.

**Материал и методы.** В исследование проспективно включены 200 пациентов старше 18 лет. Всем было проведено трансторакальное эхокардиографическое исследование с определением диастолической функции левого желудочка с применением скоростной и тканевой доплерографии. Регистрацию электрокардиограммы проводили с помощью одноканального монитора. После спектрального анализа электрокардиограммы были рассчитаны временные, амплитудные и частотные параметры. Проведена оценка модернизированного алгоритма определения значимой диастолической дисфункции ЛЖ, учитывая результаты, полученные на обучающей выборке пациентов.

**Результаты.** Средний возраст пациентов составил 53,2±18,1 года. У 31% больных была выявлена диастолическая дисфункция ЛЖ средней и тяжелой степени. Чувствительность и специфичность алгоритма в выявлении диастолической дисфункции ЛЖ 2-й ст. составили 98,3% и 97,8%, диастолической дисфункции ЛЖ 3-й ст. — 87,5% и 99,5%, диастолической дисфункции ЛЖ 2-й и 3-й ст. — 95,6% и 97,7% соответственно. Диагностическая точность составила 97,5%, 99,0% и 96,5% соответственно.

**Вывод.** Достигнутые результаты обосновывают принципиальную возможность удаленного скринингового определения диастолической дисфункции ЛЖ на основании параметров электрокардиограммы.

**Ключевые слова:** диастолическая функция, портативный ЭКГ-монитор, электрокардиограмма, эхокардиография, сердечная недостаточность, машинное обучение.

### Информация об авторах:

Кузнецова Н.О. — <https://orcid.org/0000-0003-4717-1272>

Сагирова Ж.Н. — <https://orcid.org/0000-0002-7795-4617>

Губина А.Ю. — <https://orcid.org/0000-0001-5206-3191>

Захаров И.П. — <https://orcid.org/0000-0002-5598-7952>

Фашафша З.З.А. — <https://orcid.org/0000-0001-5473-3101>

Сыркина Е.А. — <https://orcid.org/0000-0002-8072-4513>

Чомахидзе П.Ш. — <https://orcid.org/0000-0003-1485-6072>

Копылов Ф.Ю. — <https://orcid.org/0000-0001-5124-6383>

**Автор, ответственный за переписку:** Кузнецова Н.О. — e-mail: tusia.13@bk.ru

### Как цитировать:

Кузнецова Н.О., Сагирова Ж.Н., Губина А.Ю., Захаров И.П., Фашафша З.З.А., Сыркина Е.А., Чомахидзе П.Ш., Копылов Ф.Ю. Новый алгоритм оценки диастолической дисфункции левого желудочка по данным одноканальной электрокардиограммы с использованием машинного обучения. *Кардиология и сердечно-сосудистая хирургия*. 2022;15(5):496–500. <https://doi.org/10.17116/kardio202215051496>

## A new machine-learning algorithm for assessing the left ventricular diastolic dysfunction by a single-channel ECG monitor

© N.O. KUZNETSOVA, ZH.N. SAGIROVA, A.YU. GUBINA, I.P. ZAKHAROV, Z.Z.A. FASHAFSHA, E.A. SYRKINA, P.SH. CHOMAKHIDZE, PH.YU. KOPYLOV

Sechenov First Moscow State Medical University, Moscow, Russia

### Abstract

**Objective.** Analysis of a new algorithm based on machine learning elements to determine significant (grade 2 or 3) left ventricular diastolic dysfunction using a single-channel electrocardiography (ECG).

**Material and methods.** The study prospectively included 200 patients over 18 years old. Each one underwent transthoracic echocardiography with analysis of left ventricular diastolic dysfunction by high-speed and tissue Doppler ultrasound. ECG was record-

ed using a single-channel monitor. After spectral analysis of ECG, we calculated the time, amplitude and frequency parameters. The modernized algorithm for determining significant left ventricular diastolic dysfunction was evaluated considering the results obtained on the training sample of patients.

**Results.** Mean age of patients was  $53.2 \pm 18.1$  years. Moderate-to-severe left ventricular diastolic dysfunction was found in 31% of patients. Sensitivity and specificity of the algorithm in determining moderate left ventricular diastolic dysfunction were 98.3% and 97.8%, severe dysfunction — 87.5% and 99.5%, moderate-to-severe diastolic dysfunction — 95.6% and 97.7%, respectively. Diagnostic accuracy was 97.5%, 99.0% and 96.5%, respectively.

**Conclusion.** The achieved results substantiate fundamental possibility of remote screening of left ventricular diastolic dysfunction based on ECG parameters.

**Keywords:** diastolic function, portable ECG monitor, electrocardiogram, echocardiography, heart failure, machine learning.

**Information about the authors:**

Kuznetsova N.O. — <https://orcid.org/0000-0003-4717-1272>

Sagirova Zh.N. — <https://orcid.org/0000-0002-7795-4617>

Gubina A.Yu. — <https://orcid.org/0000-0001-5206-3191>

Zakharov I.P. — <https://orcid.org/0000-0002-5598-7952>

Fashafsha Z.Z.A. — <https://orcid.org/0000-0001-5473-3101>

Syrkina E.A. — <https://orcid.org/0000-0002-8072-4513>

Chomakhidze P.Sh. — <https://orcid.org/0000-0003-1485-6072>

Kopylov Ph.Yu. — <https://orcid.org/0000-0001-5124-6383>

**Corresponding author:** Kuznetsova N.O. — e-mail: [tusia.13@bk.ru](mailto:tusia.13@bk.ru)

**To cite this article:**

Kuznetsova NO, Sagirova ZhN, Gubina AYu, Zakharov IP, Fashafsha ZZA, Syrkina EA, Chomakhidze PSh, Kopylov PhYu. A new machine-learning algorithm for assessing the left ventricular diastolic dysfunction by a single-channel ECG monitor. *Russ. Jour. of Card. and Cardiovasc. Surg. = Kard. i serd.-sosud. khir.* 2022;15(5):496–500. (In Russ.). <https://doi.org/10.17116/kardio202215051496>

**Введение**

Оценка диастолической функции левого желудочка (ДФ ЛЖ) играет важную роль в понимании работы сердца и его изменений при различных сердечно-сосудистых заболеваниях. Диастолическая дисфункция (ДД) ЛЖ развивается вследствие повышения жесткости стенки и/или нарушения расслабления ЛЖ.

ДД ЛЖ выявляется при гипертрофии ЛЖ, рестриктивной кардиомиопатии, ишемической болезни сердца, инфилтративных заболеваниях миокарда, констриктивном перикардите [1]. Снижение ДФ ЛЖ в норме наблюдается у пациентов старше 50 лет. Зачастую ДД ЛЖ является маркером хронической сердечной недостаточности с сохранной фракцией выброса (ХСНсФВ).

По данным российского эпидемиологического исследования ЭПОХА, число пациентов с ХСНсФВ с 2005 по 2017 г. увеличилось на 21,5%, что составило 53% от популяции всех больных хронической сердечной недостаточностью (ХСН) [2, 3]. По данным долгосрочного регистра ESC, 16% пациентов в амбулаторных условиях имеют ХСНсФВ [4].

Низкая специфичность жалоб (48–55%) при ХСН приводит к необходимости проведения скрининга малосимптомной ХСН с применением дорогостоящих лабораторных и ультразвуковых методов. Создание простой и эффективной методики скрининга при возникновении характерных жалоб является актуальной задачей.

При ранней диагностике ХСН и своевременном начале лечения риск общей смертности снизится на 11%, госпитализации — на 20%, смерти от сердечно-сосудистых заболеваний — на 8% [5]. Достижение таких показателей возможно при использовании телемедицинских технологий для проведения скрининга и контроля прогрессирования ХСН.

Одним из самых доступных и простых методов телемедицины является электрокардиограмма (ЭКГ). Преимуществом современных телемедицинских портативных ЭКГ-мониторов является возможность самостоятельной регистрации ЭКГ в любом месте без участия медицинского работника.

Существуют исследования, в которых показано, что определенные изменения на ЭКГ ассоциированы с ДД ЛЖ [6–9]. В течение последних лет были выполнены работы, в которых оценку ДД ЛЖ проводили с помощью спектрального анализа ЭКГ на основе машинного обучения [10–13]. Однако следует признать, что выявление ДД ЛЖ по данным ЭКГ не получило общего признания.

В Сеченовском Университете на основе методов машинного обучения при спектральном анализе одноканальной ЭКГ были выявлены параметры, имеющие корреляцию со значимой ДД ЛЖ.

Цель настоящего исследования — апробация данного алгоритма, создание которого позволит улучшить контроль течения ХСН, а также проводить широкомасштабный скрининг.

**Материал и методы**

На первом этапе исследования в обучающую выборку включены 418 пациентов. Были выявлены параметры ЭКГ, имеющие высокую корреляцию с наличием значимой ДД ЛЖ. Такими параметрами являются QTc, Tpeak, Toffs, QRSfi. Интервал QTc указывал на наличие значимой ДД ЛЖ с чувствительностью 78% и специфичностью 65%, Tpeak >590 мс — с чувствительностью 63% и специфичностью 58%, Toffs >695 мс — с чувствительностью 63% и специфичностью 74%, QRSfi >674 мс — с чувствительностью 74% и специфичностью 57%.



**Рис. 1.** Одноканальный портативный электрокардиограф CardioQVARK.

**Fig. 1.** Single-channel portable electrocardiograph CardioQVARK.

Комбинация пороговых значений по всем четырем параметрам повысила чувствительность до 86% и специфичность до 70% (OR 11,7 [2,7; 50,9],  $p < 0,001$ ). На основании полученных результатов была проведена модернизация алгоритма по выявлению значимой ДД ЛЖ с помощью одноканальной ЭКГ на основе элементов машинного обучения.

На втором этапе проведено проспективное нерандомизированное наблюдательное одноцентровое исследование. В тестовую выборку с января 2021 г. по сентябрь 2021 г. последовательно включены 217 пациентов. Все участники старше 18 лет обратились амбулаторно или были госпитализированы в кардиологическое отделение Университетской клинической больницы №1 Сеченовского Университета. От каждого включенного в исследование было получено письменное информированное добровольное согласие.

Работа финансировалась Министерством науки и высшего образования Российской Федерации в рамках государственной поддержки создания и развития научных центров мирового уровня «Цифровой биодизайн и персонализированное здравоохранение» №075-15-2020-926.

Протокол исследования составлен в соответствии с Хельсинкской декларацией и утвержден на заседании локальной этической комиссии Сеченовского Университета (№10-19 от 17.07.2019). Исследование зарегистрировано на сайте ClinicalTrials.gov (ID NCT04474639).

В исследование не включали пациентов с установленным кардиостимулятором, выявленными изменениями ЭКГ, не позволяющими проводить спектральный анализ, тяжелыми пороками клапанов сердца.

Из 217 пациентов исключены 17 человек: 11 (5,1%) пациентов — из-за невозможности оценить диастолическую функцию вследствие плохой визуализации при эхокардиографии (ЭхоКГ), 6 (2,8%) пациентов — из-за неудовлетворительного качества записи ЭКГ.

В ходе исследования за один день проводили сбор анамнеза, ЭхоКГ-обследование на аппарате GE VIVID 7 с оценкой ДФ ЛЖ на основании действующих рекомендаций [14], регистрацию ЭКГ проводили непосредственно после ЭхоКГ в течение 3 мин в положении сидя в покое. Записывали I стандартное отведение с помощью одноканального портативного электрокардиографа CardioQVARK (рис. 1).

Устройство CardioQVARK представляет собой чехол для телефона с датчиком ЭКГ и отражающим датчиком МАХ30102 для регистрации пульсовой волны. На сегодняшний день оно является единственным зарегистриро-

ванным в Российской Федерации одноканальным портативным электрокардиографом (регистрация в Федеральной службе по надзору в сфере здравоохранения РФ от 15 февраля 2019 г. №РЗН 2019/8124).

В ходе исследования были оценены длины, амплитуды и частотные параметры волн ЭКГ-комплекса, энергии сигнала ЭКГ в целевых зонах различных сегментов, показатели асимметрии. Примененный спектральный анализ ЭКГ на основе вейвлет-преобразования позволил выявить особенности, недоступные для анализа при обычном рассмотрении ЭКГ врачом.

Вейвлет-преобразование представляет собой разложение ЭКГ по цветовым спектрам в зависимости от времени (ось X) и частоты (ось Y). Значение мощности кодируется определенным цветом. На рис. 2 на цв. вклейке приведен пример вейвлет-преобразования одного ЭКГ-комплекса. По горизонтальной оси располагается временная шкала, по вертикальной оси — шкала частот. Градиентом цвета закодировано значение мощностей (красный — большие положительные значения, синий — большие по модулю отрицательные значения, зеленый — малые значения).

Был проведен анализ всех случайных комбинаций параметров ЭКГ. Их число составило около 60 млн. При выборе комбинации не более 4 из 200 одновременно заданных параметров использовали логистическую регрессию для поиска наиболее оптимальных показателей для выявления ДД ЛЖ. Это недоступно при обычном статистическом анализе без прикладного машинного обучения.

## Результаты

Всего в исследование включены 217 пациентов. После исключения 17 человек по указанным выше причинам 200 были включены в окончательный анализ. Основные характеристики участников исследования представлены в табл. 1.

При применении модели ДФ оценивали по следующей шкале: «норма» (зеленый цвет), «нарушена» (желтый цвет), «выраженное нарушение» (красный цвет). «Норма» определялась отсутствием диастолической дисфункции при ЭхоКГ или же сомнительными данными о наличии диастолической дисфункции, «нарушена» — диастолическая дисфункция 2-й ст., «выраженное нарушение» — диастолическая дисфункция 3-й ст. по данным ЭхоКГ (рис. 3 на цв. вклейке). Определение ДД при ЭхоКГ проводили согласно действующим рекомендациям.

**Таблица 1. Основные характеристики пациентов (n=200)**  
**Table 1. Main characteristics of patients (n=200)**

Параметр	Значение	%
Средний возраст, годы	53,2±18,1	—
Мужчины	87	43,5
Артериальная гипертензия:		
1-й ст.	12	6,0
2-й ст.	92	46,0
3-й ст.	18	9,0
Ишемическая болезнь сердца	68	34,0
Перенесенный инфаркт миокарда	44	22,0
Фибрилляция предсердий на момент исследования	5	2,5
Хроническая сердечная недостаточность:		
I класс по NYHA	3	1,5
II класс по NYHA	33	16,5
III класс по NYHA	8	4,0
IV класс по NYHA	0	0
Сахарный диабет 2-го типа	11	5,5
Курение	19	8,5
Злоупотребление алкоголем	9	4,5
ДД ЛЖ 1-й ст.	18	9,0
ДД ЛЖ 2-й ст.	62	31,0
ДД ЛЖ 3-й ст.	8	4,0

Среди пациентов, включенных в анализ, у 62 отмечена ДД 2-й ст., у 8 — ДД 3-й ст. ДД верно определена у 60 из 62 пациентов с ДД 2-й ст. и у 7 из 8 пациентов с ДД 3-й ст. Кроме того, у 3 пациентов алгоритм показал наличие нарушенной ДФ ЛЖ (ДД 2-й ст.), у 1 пациента — «выраженное нарушение», тогда как при ЭхоКГ признаков ДД не было. Диагностическая точность разработанной модели представлена в **табл. 2**.

Алгоритм показал высокую чувствительность и специфичность в выявлении клинически значимой ДД ЛЖ.

### Обсуждение

ХСН является одной из главных причин смертности в популяции, а также характеризуется высоким риском госпитализации [15, 16]. У 4,8% пациентов при ХСН снижаются качество жизни и трудоспособность [16]. У лиц с ХСНсФВ одной из ключевых задач является оценка ДФ ЛЖ. Определение данного параметра возможно при ЭхоКГ. Однако данный метод не может быть использован в качестве скринингового, особенно на амбулаторном этапе.

В литературе встречаются исследования, в которых показана возможность использования данных 12-канальной ЭКГ для выявления ДД ЛЖ [6, 17—19]. Интервал QR, временные параметры зубца Р оказались предикторами наличия ДД ЛЖ [17, 18, 20]. В вышеуказанных работах ком-

плексный анализ параметров ЭКГ, а также спектральный анализ ЭКГ не проводился.

В 2018 г. опубликована работа, в которой нарушение расслабления ЛЖ выявляли с помощью метода машинного обучения («Случайный лес»). Был проведен анализ 12-канальной ЭКГ с использованием вейвлет-преобразования. Предсказание снижения расслабления ЛЖ методом «Случайный лес» проводилось с чувствительностью 80% и специфичностью 84% [11].

Персональные портативные регистраторы ЭКГ позволяют получить запись, как правило, в одном отведении. Работы по определению ДД ЛЖ по одноканальной ЭКГ с помощью искусственного интеллекта отсутствуют. Мы провели исследование, в котором на основании алгоритмов машинного обучения прогнозировали наличие ДД ЛЖ по данным одноканальной ЭКГ. Анализ ЭКГ проводили с помощью вейвлет-преобразования. Множество полученных параметров были проанализированы на ассоциацию с наличием ДД ЛЖ, а затем включены в многофакторные алгоритмы. Данный подход может быть использован в качестве скринингового обследования.

В Сеченовском Университете был создан алгоритм для определения ДД ЛЖ при спектральном анализе одноканальной ЭКГ на основе методов машинного обучения. Снижение ДФ ЛЖ до 1-й ст. в норме может наблюдаться у пациентов старше 50 лет. ДД 1-й ст. не влияет на прогноз и не является причиной тяжелой и инвалидизирующей ХСН. При выявлении ДД ЛЖ 2-й ст. чувствительность и специфичность алгоритма составили 98,3% и 97,8%, ДД 3-й ст. — 87,5% и 99,5%, ДД 2-й и 3-й ст. — 95,6% и 97,7% соответственно. Диагностическая точность алгоритма также показала высокие значения: 97,5%, 99,0% и 96,5% соответственно.

Полученные результаты позволяют говорить о создании довольно точного алгоритма, позволяющего проводить удаленное скрининговое определение ДД ЛЖ, а также контролировать течение ХСН.

### Ограничения исследования

Мы не включали пациентов с тяжелыми пороками сердца, нарушениями внутрисердечной проводимости и другими состояниями, при которых спектральный анализ ЭКГ был бы затруднен. В отдельных работах следует определить возможности разработанных моделей у пациентов с тяжелыми поражениями сердца, при которых значительно разнятся морфологии комплексов ЭКГ.

Мы не ставили задачу и не проводили анализ по выявлению ДД ЛЖ 1-й ст. в связи с возможными физиологическими причинами ее снижения.

Не изучена точность разработанных моделей отдельно на пациентах с тяжелой ХСН — IV функционального класса по NYHA. В нашем исследовании не было таких пациентов.

**Таблица 2. Диагностическая точность разработанного алгоритма в выявлении ДД ЛЖ**  
**Table 2. Diagnostic accuracy of the developed algorithm in detection of LV diastolic dysfunction**

Показатель	ДД ЛЖ 2-й и 3-й ст.	ДД ЛЖ 2-й ст.	ДД ЛЖ 3-й ст.
Чувствительность, %	95,6	98,3	87,5
Специфичность, %	97,7	97,8	99,5
Диагностическая точность, %	96,5	97,5	99,0

## Заклучение

Проведение спектрального анализа частотных и амплитудных параметров ЭКГ позволило создать модели для выявления значимой ДД ЛЖ. Достигнутые результаты обосновывают принципиальную возможность удаленного скринингового определения ДД ЛЖ на основании параметров одноканальной ЭКГ.

Работа финансировалась Министерством науки и высшего образования Российской Федерации в рамках государственной поддержки создания и развития научных центров мирового уровня «Цифровой биодизайн и персонализированное здравоохранение» №075-15-2020-926.

**Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.  
The authors declare no conflicts of interest.**

## ЛИТЕРАТУРА/REFERENCES

1. Лутра А. *ЭхоКГ понятным языком*. Пер. с англ. под ред. Васюка Ю.А. 3-е изд. М.: Практическая медицина; 2017:60-61. Luthra A. *Echo made easy*. Translated by Vasyuk YuA, 3rd edition. M.: Practical Medicine; 2017:60-61. (In Russ.).
2. Клинические рекомендации «Хроническая сердечная недостаточность» МЗ РФ 2016. Clinical guidelines “Chronic heart failure” of the Ministry of Health of the Russian Federation 2016. (In Russ.).
3. Фомин И.В. Хроническая сердечная недостаточность в Российской Федерации: что сегодня мы знаем и что должны делать. *Российский кардиологический журнал*. 2016;8:7-13. Fomin IV. Chronic Heart Failure In Russian Federation: What Do We Know And What To Do. *Russian Journal of Cardiology*. 2016;8:7-13. (In Russ.). <https://doi.org/10.15829/1560-4071-2016-8-7-13>
4. McDonagh TA, Metra M, Adamo M, et al. 2021 ESC Guidelines for the diagnosis and treatment of acute and chronic heart failure. *European Heart Journal*. 2021;42(36):3599-3726. Published: 27 August 2021. <https://doi.org/10.1093/eurheartj/ehab368>
5. Виноградова Н.Г. Городской центр лечения хронической сердечной недостаточности: организация работы и эффективность лечения пациентов с хронической сердечной недостаточностью. *Кардиология*. 2019;59(2S):31-39. Vinogradova NG. City Center for the Treatment of Chronic Heart Failure: organization of work and effectiveness of treatment of chronic heart failure. *Kardiologiya*. 2019;59(2S):31-39. (In Russ.). <https://doi.org/10.18087/cardio.2621>
6. Tsai W-Ch, Lee K-T, Wu M-T, et al. Significant Correlation of P-Wave Parameters With Left Atrial Volume Index and Left Ventricular Diastolic Function. *The American Journal of the Medical Sciences*. 2013;346(1):45-51.
7. Çanga A, Kocaman SA, Durakoğlugil ME, et al. Relationship between fragmented QRS complexes and left ventricular systolic and diastolic functions. *Herz*. 2013;38(6):665-670.
8. Kang JG, Chang Y, Sung K-Ch, et al. Association of isolated minor nonspecific ST-T abnormalities with left ventricular hypertrophy and diastolic dysfunction. *Sci Rep*. 2018;8(1):8791. <https://doi.org/10.1038/s41598-018-27028-61-7>
9. Sauer A, Wilcox JE, Andrei A-C, et al. Diastolic Electromechanical Coupling: Association of the ECG T-Peak to T-End Interval With Echocardiographic Markers of Diastolic Dysfunction. *Circulation: Arrhythmia and Electrophysiology*. 2012;5(3):537-543. <https://doi.org/10.1161/circep.111.969717>
10. Attia ZI, Kapa S, Lopez-Jimenez F, et al. Screening for cardiac contractile dysfunction using an artificial intelligence – enabled electrocardiogram. *Nature Medicine*. 2019;25(1):70-74. <https://doi.org/10.1038/s41591-018-0240-2>
11. Sengupta PP, Kulkarni H, Narula J. Prediction of Abnormal Myocardial Relaxation From Signal Processed Surface ECG. *Journal of the American College of Cardiology*. 2018;71(15):1650-1660. <https://doi.org/10.1016/j.jacc.2018.02.024>
12. Kagiya N, Piccirilli M, Yanamala N, et al. Machine Learning Assessment of Left Ventricular Diastolic Function Based on Electrocardiographic Features. *Journal of the American College of Cardiology*. 2020;76(8):930-941. <https://doi.org/10.1016/j.jacc.2020.06.061>
13. Bax JJ, Van der Bijl P, Delgado V. Machine Learning for Electrocardiographic Diagnosis of Left Ventricular Early Diastolic Dysfunction. *Journal of the American College of Cardiology*. 2018;71(15):1661-1662. <https://doi.org/10.1016/j.jacc.2018.02.041>
14. Sherif FN, Otto AS, 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. *Journal of the American Society of Echocardiography*. 2016;29:277-314.
15. Berliner D, Hänselmann A, Dtsch A. The Treatment of Heart Failure with Reduced Ejection Fraction. *Int*. 2020;117(21):376-386. <https://doi.org/10.3238/arztebl.2020.0376>
16. Tomasoni D, Adamo M, Lombardi CM, Metra M. Highlights in heart failure ESC. *Heart Fail*. 2019;6(6):1105-1127.
17. Tamer T, Sayed Kh, Saad M, et al. How accurate can electrocardiogram predict left ventricular diastolic dysfunction? *The Egyptian Heart Journal (EHJ): official bulletin of the Egyptian Society of Cardiology*. 2016;68:117-123.
18. Boles U, Almutaser I, Brown A, et al. Ventricular Activation Time as a Marker for Diastolic Dysfunction in Early Hypertension. *American Journal of Hypertension*. 2010;23(7):781-785.
19. Onoue Y, Izumiya Y, Hanatani Sh, et al. Fragmented QRS complex is a diagnostic tool in patients with left ventricular diastolic dysfunction. *Heart and Vessels*. 2016;31(4):563-567. <https://doi.org/10.1007/s00380-015-0651-7>
20. Gunduz H, Binak E, Arinc H, et al. The Relationship between P Wave Dispersion and Diastolic Dysfunction. *Texas Heart Institute Journal*. 2005;32(2):163-167.

Поступила 10.03.2022

Received 10.03.2022

Принята к печати 22.04.2022

Accepted 22.04.2022

К статье *Н.О. Кузнецовой и соавт. «Новый алгоритм оценки диастолической дисфункции левого желудочка по данным одноканальной электрокардиограммы с использованием машинного обучения»*

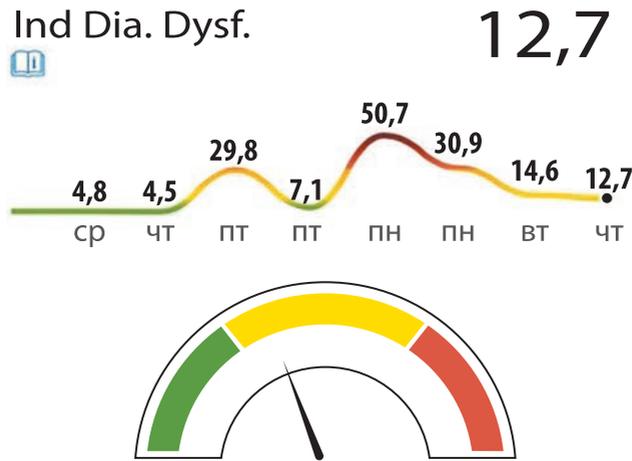


Рис. 3. Пример заключения о наличии ΔΔ ЛЖ, предоставляемого пациенту.

Fig. 3. Conclusion about the presence of LV diastolic dysfunction presented to the patient.

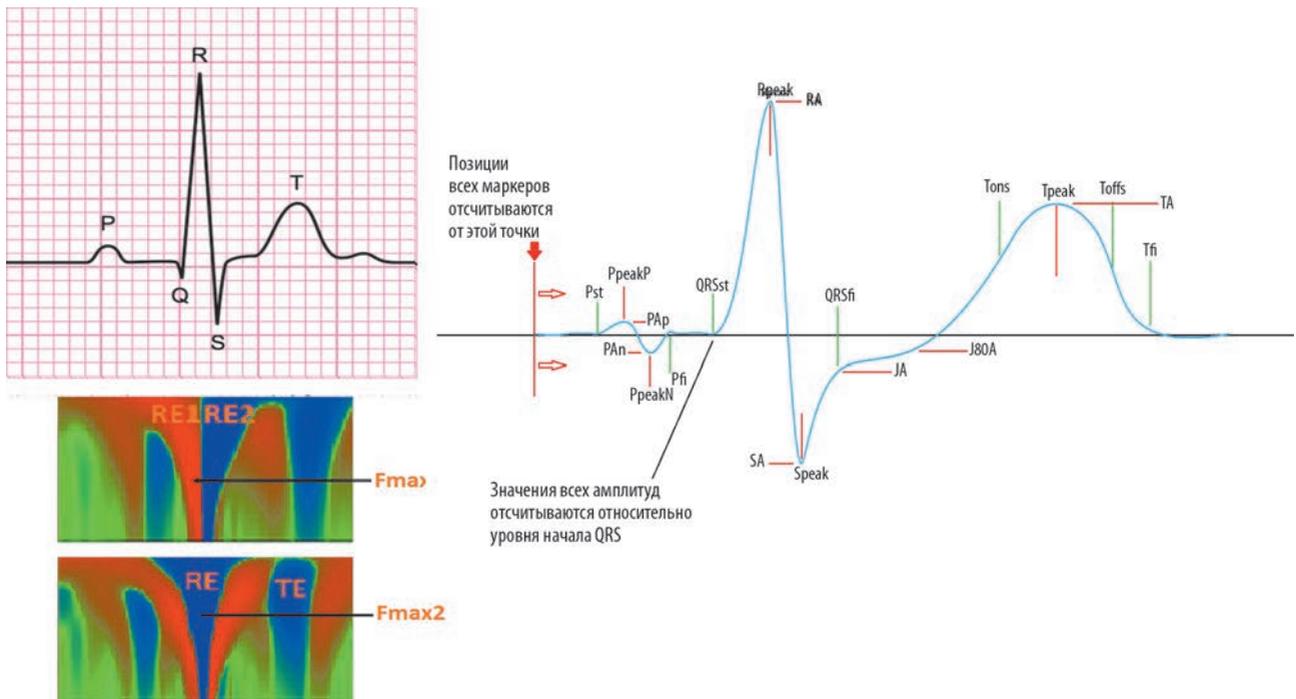


Рис. 2. Вейвлет-преобразование и параметры одного ЭКГ-комплекса.

TA — амплитуда T-волны; Rpeak — позиция R-пика; Speak — позиция S-пика; PAn — отрицательная амплитуда волны P; PpeakP — позиция положительного пика P-волны; PpeakN — позиция отрицательного пика P-волны; RA — амплитуда R-волны; SA — амплитуда S-волны; JA — амплитуда в точке J; J80A — амплитуда в точке J + 80мс; Pst — маркер начала P-волны; Pfi — маркер конца P-волны; QRSst — маркер начала QRS-комплекса; QRSfi — маркер конца QRS-комплекса; Tfi — маркер конца T-волны; Tpeak — позиция пика T-волны; Tons — точка максимального наклона на переднем фронте T-волны; Toffs — точка максимального наклона на заднем фронте T-волны.

Fig. 2. Wavelet transform and time parameters of one ECG complex.

TA — T wave amplitude; Rpeak — peak of R wave; Speak — peak amplitude of S wave; PAn — negative amplitude of P wave; PpeakP — peak of positive P wave; PpeakN — peak of negative P wave; RA — R wave amplitude; SA — S wave amplitude; JA — amplitude at J point; J80A — amplitude at 80 msec after J point; Pst — start of P wave; Pfi — end of P wave; QRSst — start of QRS complex; QRSfi — end of QRS complex; Tfi — end of T wave; Tpeak — T wave peak; Tons — maximum slope of T wave onset; Toffs — maximum slope of T wave offset.