



УДК 616.1

DOI 10.17802/2306-1278-2022-11-4S-34-46

## ВОЗМОЖНОСТИ ПОРТАТИВНОГО РЕГИСТРАТОРА ЭЛЕКТРОКАРДИОГРАММЫ И ПУЛЬСОВОЙ ВОЛНЫ В ВЫЯВЛЕНИИ СИСТОЛИЧЕСКОЙ ДИСФУНКЦИИ ЛЕВОГО ЖЕЛУДОЧКА

Ж.Н. Сагирова, Н.О. Кузнецова, А.Ю. Губина, И. Дхиф, Н.Ю. Мишакина, И.В. Калошина,  
Д.Г. Гогниева, П.Ш. Чомахидзе, Ф.Ю. Копылов

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования Первый Московский государственный медицинский университет имени И.М. Сеченова Министерства здравоохранения Российской Федерации (Сеченовский Университет), ул. Трубецкая, 8, стр. 2, Москва, Российская Федерация, 119991

### Основные положения

• Описана возможность диагностики снижения систолической функции левого желудочка по данным электро- и фотоплетизмограммы. Разработка метода оценки систолической функции левого желудочка на основе электро- и фотоплетизмограммы позволит улучшить и упростить выявление сердечно-сосудистых заболеваний. Метод оценки систолической функции сердца, изложенный в исследовании, представлен впервые и является уникальным.

<b>Цель</b>	Оценка систолической функции левого желудочка (ЛЖ) на основе параметров электро- (ЭКГ) и фотоплетизмограммы (ФПГ), зарегистрированных одноканальным монитором ЭКГ с функцией фотоплетизмографии.
<b>Материалы и методы</b>	В проспективное исследование включено 489 пациентов в возрасте старше 18 лет, имеющих заболевания сердечно-сосудистой системы. Всем участникам исследования выполнена эхокардиография с определением основных показателей систолической функции ЛЖ: фракции выброса (ФВ) ЛЖ, интеграла линейной скорости кровотока в выносящем тракте ЛЖ (VTI в ВТЛЖ), глобальной деформации ЛЖ (GLS). Также всем больным проведена регистрация ЭКГ в I отведении и ФПГ с использованием монитора ЭКГ с функцией фотоплетизмографии (CardioQVARK). Проведены расчет всех полученных параметров, затем ROC-анализ данных.
<b>Результаты</b>	Выявлены параметры ЭКГ и ФПГ, ассоциированные со снижением сократительной функции ЛЖ. При анализе ЭКГ параметры TA (амплитуда T-волны) и RonsF (частота максимальной энергии переднего фронта R-волны) имели наибольшую диагностическую точность. При ФВ менее 55% для TA площадь под ROC-кривой (AUC) составила 0,822, чувствительность (Se) 80%, специфичность (Sp) 69%, а для параметра RonsF – AUC 0,743, Se 81%, Sp 77%. При ФВ менее 40%: AUC для TA составила 0,915, Se 85%, Sp 83%, для RonsF – AUC 0,844, Se 82%, Sp 82%. Диагностическая точность параметров ЭКГ при снижении VTI в ВТЛЖ менее 16 см: TA (AUC 0,755, Se 82%, Sp 70%), RonsF (AUC 0,620, Se 77%, Sp 72%). При оценке параметров ФПГ достоверной взаимосвязи со снижением ФВ не выявлено, однако параметры пульсовой волны ассоциированы с уменьшением VTI в ВТЛЖ: для DP-B0 AUC 0,687, Se 71%, Sp 74%. Комбинации параметров ЭКГ и ФПГ достоверно взаимосвязаны со значением ФВ менее 40% (RonsF*DP-SEP (AUC 0,877, Se 86%, Sp 85%)). Взаимосвязи параметров ЭКГ и ФПГ со значением GLS ЛЖ не обнаружено.
<b>Заключение</b>	Определение систолической функции ЛЖ возможно при анализе параметров ЭКГ и ФПГ, зарегистрированных с помощью портативного одноканального монитора CardioQVARK.
<b>Ключевые слова</b>	Систолическая функция • Левый желудочек • Регистратор • Электрокардиограмма • Пульсовая волна • Сердечная недостаточность

Поступила в редакцию: 26.10.2022; поступила после доработки: 07.11.2022; принята к печати: 05.12.2022

Для корреспонденции: Жанна Насибуллаевна Сагирова; адрес: ул. Трубецкая, 8, стр. 2, Москва, Российская Федерация, 119991

Corresponding author: Zhanna N. Sagirova, ; address: 8-2 Trubetskaya St., Moscow, Russian Federation, 119991

## CAPABILITIES OF A PORTABLE ELECTROCARDIOGRAM AND PHOTOPLETHYSMOGRAM-BASED MONITOR IN DETECTING LEFT VENTRICULAR SYSTOLIC DYSFUNCTION

Zh.N. Sagirova, N.O. Kuznetsova, A.Yu. Gubina, I. Dhif, N.Yu. Mishakina, I.V. Kaloshina, D.G. Gognieva, P.Sh. Chomakhidze, F.Yu. Kopylov

Federal State Autonomous Educational Institution of Higher Education I.M. Sechenov First Moscow State Medical University of the Ministry of Health of the Russian Federation (Sechenov University), 8-2 Trubetskaya St., Moscow, Russian Federation, 119991

### Highlights

• The article presents a novel and unique method for assessment of left ventricular systolic dysfunction using electrocardiography and photoplethysmography data. This method will improve and simplify the detection of cardiovascular diseases.

### Aim

To evaluate left ventricular (LV) systolic function using electrocardiogram (ECG) and photoplethysmogram (PPG) signals recorded by a single-channel ECG and PPG-based monitor.

### Methods

The prospective study included 489 patients over 18 years old with various cardiovascular diseases. All participants underwent echocardiography to determine the main indicators of LV systolic function: LV ejection fraction (EF), LV outflow tract velocity time integral (LVOT VTI), and global longitudinal strain (GLS). Moreover, all patients underwent 1-lead ECG and PPG recording using a single-channel ECG and PPG-based monitor (CardioQvark). The obtained data were analyzed, and ROC curve analysis was performed.

### Results

We have identified ECG and PPG parameters associated with a decrease in LV contractile function. During the analysis, the ECG, T-wave amplitude (TA) and RonsF parameters showed the highest diagnostic accuracy. With EF below 55%, the area under the ROC curve (AUC) was 0.822, sensitivity (Se) 80%, specificity (Sp) 69% in EF below 55% in TA; in RonsF AUC was 0.743, Se 81%, Sp 77%. With EF below 40%, AUC was 0.915, Se 85%, Sp 83% in TA, and in RonsF AUC was 0.844, Se 82%, Sp 82%. Diagnostic accuracy of ECG signals in case of LVOT VTI lower than 16 cm was measured: TA (AUC 0.755, Se 82%, Sp 70%), RonsF (AUC 0.620, Se 77%, Sp 72%). PPG signals were not significantly associated with reduced EF; however, the pulse wave parameters were associated with lower LVOT VTI: in DP-B0 AUC was 0.687, Se 71%, Sp 74%. The combination of ECG and PPG signals was significantly associated with EF below 40% (RonsF \* DP-SEP (AUC 0.877, Se 86%, Sp 85%). ECG and PPG signals were not associated with LV GLS.

### Conclusion

Assessment of LV systolic function can be performed by analyzing ECG and PPG signals recorded using a portable single-channel CardioQvark monitor.

### Keywords

Systolic function • Left ventricle • Recorder • Electrocardiogram • Pulse wave • Heart failure

Received: 26.10.2022; received in revised form: 07.11.2022; accepted: 05.12.2022

### Список сокращений

ЛЖ – левый желудочек	ЭКГ – электрокардиограмма
ФВ – фракция выброса	ЭхоКГ – эхокардиография
ФПГ – фотоплетизмограмма	VTI в VTЛЖ – интеграл линейной скорости кровотока в выносящем тракте ЛЖ
ХСН – хроническая сердечная недостаточность	

### Введение

Хроническая сердечная недостаточность (ХСН) на данный момент остается значимой проблемой здравоохранения во всем мире. ХСН диагностиру-

ют у 1–2% населения развитых странах и более чем у 7% жителей России [1, 2]. В основе более половины случаев развития ХСН лежит снижение систолической функции левого желудочка (ЛЖ) [2, 3].

Регулярная оценка систолической функции ЛЖ необходима не только для диагностики ХСН, но и выбора медикаментозной терапии, а также дальнейшего контроля течения заболевания [4]. При этом эхокардиография (ЭхоКГ), несмотря на широкую распространенность, не всегда доступна в качестве скринингового метода диагностики, кроме того, зачастую нет возможности проводить ее повторно при каждом ухудшении состояния, смене терапии или непосредственно на фоне физической или эмоциональной нагрузки.

В настоящее время разрабатываются алгоритмы для оценки систолической функции ЛЖ на основе электрокардиограммы (ЭКГ) и данных пульсовой волны (фотоплетизмографии, ФПГ). Существует ряд отечественных работ, в которых по данным ЭКГ оценена сократительная функция сердца [5–7]. Авторы выявили значимые взаимосвязи некоторых временных параметров ЭКГ и показателей ЭхоКГ. Также проведены исследования, в которых помимо оценки комплекса QRST определяли дисперсию интервала QT, а также влияние на сократительную функцию сердца наличие блокады левой ножки пучка Гиса [8–11].

Кроме того, современными портативными устройствами возможна регистрация ФПГ – пульсовой волны, которая распространяется по сосудам вследствие сократительной функции сердца. График пульсовой волны позволяет оценить систолическую функцию ЛЖ: так, проведены работы по изучению связи скорости пульсовой волны со значениями глобальной продольной деформации (GLS), оценке способа определения сердечного выброса на основе данных пульсовой волны [12–14].

В России разработано и зарегистрировано устройство для одновременной синхронной записи ЭКГ и ФПГ. Монитор CardioQVARK – это чехол для смартфона, который имеет датчики ЭКГ и ФПГ и позволяет регистрировать одноканальную ЭКГ и пульсовую волну с пальцев рук. Таким образом возможно определить как временные и амплитудные параметры ЭКГ и ФПГ, так и их временную взаимосвязь, то есть ответ миокарда на возбуждение с учетом распространения пульсовой волны до дистальных артериол.

**Цель представленного исследования** – определить возможности одноканального монитора ЭКГ с функцией фотоплетизмографии в оценке сократительной способности ЛЖ.

### Материалы и методы

В проспективное исследование с 01.11.2019 г. по 01.11.2020 г. последовательно включены 400 пациентов на первом этапе и дополнительно 89 – на втором. Все участники исследования проходили лечение в клиниках ФГАОУ ВО Первый МГМУ им. И. М. Сеченова Минздрава России.

Исследование одобрено локальным этическим комитетом учреждения (протокол № 14–19), а также зарегистрировано на сайте ClinicalTrials.gov (ID: NCT04788342). Каждый пациент подписывал информированное добровольное согласие на участие в исследовании.

Критериями включения были возраст старше 18 лет, согласие на участие в исследовании. Не включали лиц с нарушениями ритма и проводимости (синдромом Вольфа – Паркинсона – Уайта, атриоventрикулярной блокадой 2-, 3-й степени, синоатриальной блокадой, блокадой левой ножки пучка Гиса), а также больных с установленным электрокардиостимулятором или кардиовертером-дефибриллятором. Критериями исключения были плохая визуализация при проведении ЭхоКГ и плохое качество записи ЭКГ и ФПГ (например, вследствие эссенциального тремора).

Всем пациентам проведена ЭхоКГ по стандартному протоколу в соответствии рекомендациями Европейской ассоциации по сердечно-сосудистой визуализации (European Association of Cardiovascular Imaging) и Американского общества эхокардиографии (American Society of Echocardiography) [15]. В качестве показателей систолической функции ЛЖ определяли фракцию выброса (ФВ) ЛЖ (рассчитанную по методике Симпсона, протоколу BIPLANE), интеграл линейной скорости кровотока в выносящем тракте ЛЖ (VTI в ВТЛЖ), а также глобальную продольную деформацию (GLS) ЛЖ. К критериям снижения систолической функции ЛЖ отнесены ФВ менее 55%, VTI в ВТЛЖ менее 16 см, а также GLS ЛЖ менее 18%. Эхокардиографическое исследование проведено трансторакально на аппарате Vivid 7 PRO General Electric Medical System (GE Healthcare, США).

Непосредственно после ЭхоКГ всем больным в покое выполнена трехминутная регистрация ЭКГ (I стандартное отведение) и ФПГ с помощью портативного одноканального электрокардиографа с функцией фотоплетизмографии CardioQVARK (ООО «Л Кард», Москва, Россия; зарегистрирован в Федеральной службе по надзору в сфере здравоохранения от 15.02.2019 г. № РЗН 2019/8124). Рассчитаны временные, амплитудные и частотные параметры ЭКГ и ФПГ по уникальному алгоритму компании, который анализирует как рутинные параметры ЭКГ и пульсовой волны, так и данные непрерывного спектрального вейвлет-преобразования, позволяющего определить частоты сигнала в любой точке ЭКГ-кривой и ФПГ.

Параметры ЭКГ и ФПГ, рассчитанные при анализе записей, представлены в Приложениях 1 и 2.

### Статистический анализ

Статистическая обработка данных проведена в программе SPPS (IBM SPSS Statistics, США). Ме-

жгрупповые различия параметров ЭКГ и ФПГ у пациентов с нормальной и сниженной ФВ оценены с использованием непараметрического U-критерия Манна – Уитни. Статистически значимым считалось значение  $p < 0,05$ . Для оценки прогностической значимости параметров проведен ROC-анализ с определением площади под кривой (AUC), рассчитаны чувствительность и специфичность. Для определения диагностической точности разработанного алгоритма применен анализ по четырехпольной таблице. Чувствительность отражает долю положительных результатов, которые правильно идентифицированы как таковые. Специфичность – долю отрицательных результатов, которые правильно идентифицированы как таковые.

## Результаты

Всего получено 489 записей ЭКГ и ФПГ. Из исследования были исключены 18 пациентов из-за плохой визуализации при выполнении ЭхоКГ (11 больных), а также низкого качества записи сигналов ЭКГ и ФПГ вследствие эссенциального тремора (7 больных). В окончательный анализ вошла 471 ЭКГ- и ФПГ-запись. На первом этапе использованы данные 382 пациентов для создания алгоритма выявления систолической дисфункции ЛЖ. На втором этапе исследования определена диагностическая точность разработанного алгоритма на основании данных обследования 89 пациентов. Схема работы представлена на рис. 1.

Средний возраст обследованных составил  $56,3 \pm 17,4$  года. Характеристика пациентов представлена в табл. 1.

В соответствии с рекомендациями Европейской ассоциации по сердечно-сосудистой визуализации, нормальной следует считать ФВ более 52% для мужчин и более 54% для женщин [15]. В то же вре-

мя, согласно текущим рекомендациям по диагностике и лечению пациентов с ХСН, существуют три группы больных: с сохранной (50% и более), умеренно сниженной или промежуточной (41–49%) и сниженной (менее 40%) ФВ [16]. В представленном исследовании мы приняли решение разделить

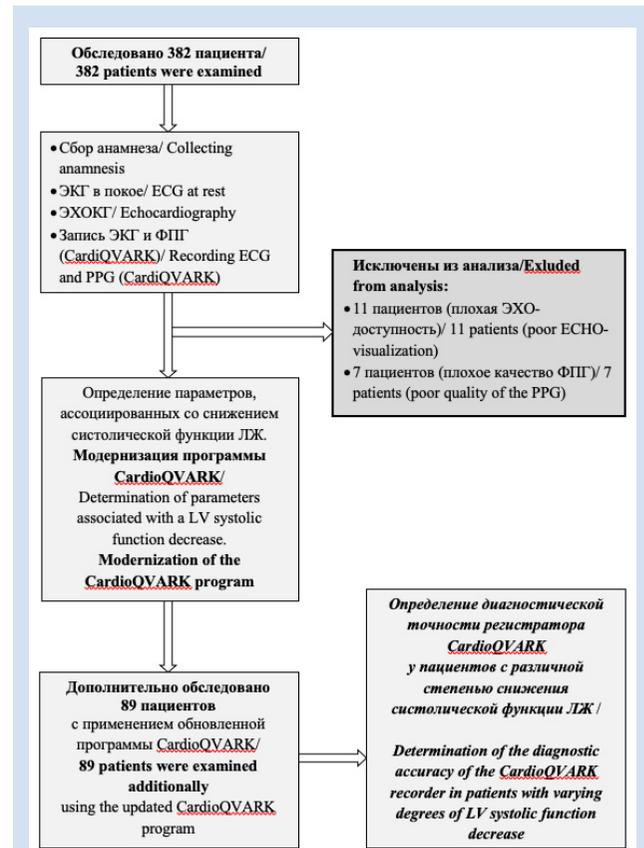


Рисунок 1. Схема исследования

**Примечание:** ЭКГ – электрокардиограмма; ЭхоКГ – эхокардиография; ФПГ – фотоплетизмограмма; ЛЖ – левый желудочек.

**Figure 1.** Study design

**Note:** ECG – electrocardiogram; ECHO – echocardiography; PPG – photoplethysmography; LV – left ventricle.

Таблица 1. Основные характеристики пациентов  
Table 1. Main characteristics of patients

Показатель / Indicator	Значения / The values
Средний возраст, лет / Mean age, years	56±17,4
Мужчины / Men, n (%)	229 (59,9%)
Артериальная гипертония / Arterial hypertension, n (%):	
стадия / stage 1	37 (9,7%)
стадия / stage 2	114 (29,8%)
стадия / stage 3	85 (22,3%)
Ишемическая болезнь сердца / Coronary artery disease, n (%)	90 (23,6%)
Фибрилляция предсердий на момент исследования / Atrial fibrillation at the time of the study, n (%)	13 (3,4%)
Хроническая сердечная недостаточность / Heart failure (NYHA), n (%):	
ФК / FC 1	4 (1,0%)
ФК / FC 2	18 (4,7%)
ФК / FC 3	16 (4,2%)
ФК / FC 4	1 (0,3%)
Сахарный диабет 2-го типа / Diabetes mellitus type 2, n (%)	53 (13,9%)
Курение / Smoking, n (%)	70 (18,3%)

**Примечания:** ФК – функциональный класс; NYHA – Нью-Йоркская кардиологическая ассоциация.  
**Notes:** FC – functional class; NYHA – New York Heart Association.

пациентов на три группы: ФВ более 55%, ФВ менее 55% и ФВ менее 40%.

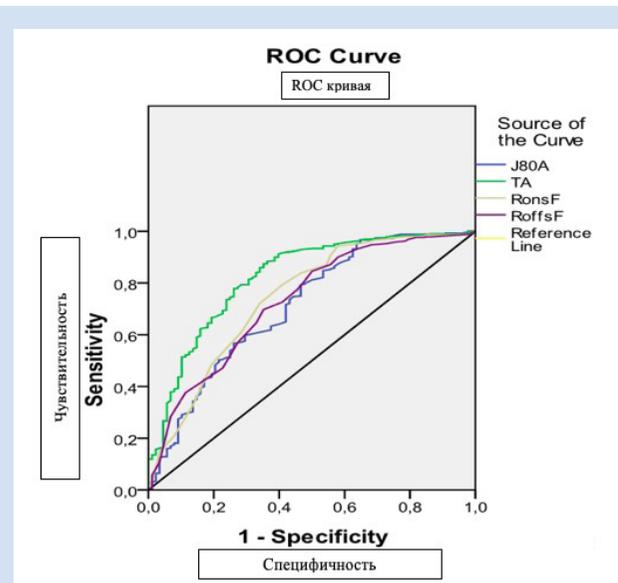
При межгрупповом анализе не выявлено достоверной связи между значениями GLS ЛЖ и параметров ЭКГ и ФПГ. Также не обнаружено значимой корреляции параметров ЭКГ и ФПГ с показателями фракции выброса и VTI в ВТЛЖ у пациентов с сохранной систолической функцией ЛЖ. Достоверные межгрупповые различия параметров ФПГ у лиц с ФВ более и менее 55% оценены с использованием непараметрического U-критерия Манна – Уитни (табл. 2).

Те же параметры были значимы и при анализе больных с ФВ менее 40% по сравнению с пациентами с сохранной сократимостью миокарда. Кроме того, выявлены временные и частотные параметры ЭКГ, ассоциированные со снижением показателей систолической функции ЛЖ. Такими параметрами

**Таблица 2.** Межгрупповые различия параметров фотоплетизмографии у пациентов с ФВ более и менее 55%  
**Table 2.** Intergroup differences in PPG in patients with normal and reduced EF

Показатель / Indicator	Группирующий критерий / Grouping criterion		P
	ФВ менее 55% / EF less than 55%	ФВ более 55% / EF more than 55%	
SRP-B1	214,4	262,9	0,005
SRP-B0	191,7	267,6	<0,001
SRP-SEP	188,6	268,3	<0,001
DP-B0	215,3	262,7	0,005
DP-SEP	211,2	263,6	0,002
SEPMAX-B0	206,1	264,6	0,001
SEPMAX-SEP	197,3	266,5	<0,001

**Примечания:** ФВ – фракция выброса.  
**Notes:** EF – ejection fraction, PPG – photoplethysmography.



**Рисунок 2.** ROC-анализ параметров ЭКГ, достоверно ассоциированных с ФВ менее 55%

**Figure 2.** ROC curve for ECG parameters significantly associated with EF below 55%

оказались J80A, TA (амплитуда T-волны), RonsF и RoffsF (частота максимальной энергии переднего и заднего фронтов R-волны).

При проведении ROC-анализа выделены параметры, достоверно ассоциированные как с ФВ менее 55 и 40%, так и показателем VTI в ВТЛЖ менее 16 см (рис. 2–6).

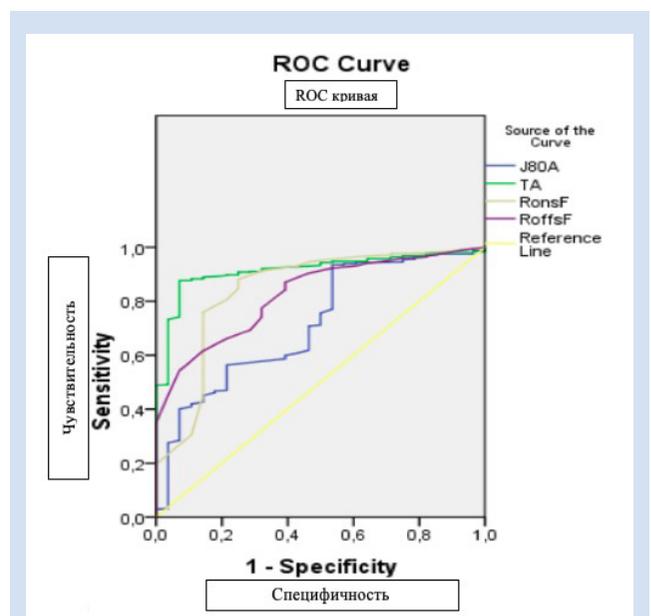
В табл. 3 представлены параметры ROC-анализа показателей ЭКГ и ФПГ, достоверно ассоциированных со снижением систолической функции ЛЖ.

Затем проведена оценка комбинированных показателей ЭКГ и ФПГ. Значимыми оказались временные параметры от переднего фронта R-зубца до различных точек пульсовой волны (табл. 4).

На основании полученных данных модернизирована программа анализа ЭКГ и ФПГ в регистраторе CardioQVARK. Проспективно дополнительно обследованы 89 пациентов по указанному выше протоколу. Из них у 28 пациентов ФВ была менее 55%, но не ниже 40%, а у 9 – менее 40%. При сопоставлении полученных данных с результатами ЭхоКГ оказалось, что при комплексном анализе параметров ЭКГ и ФПГ регистратор обладает следующими показателями диагностической точности (табл. 5).

## Обсуждение

В настоящее время разработано большое количество приборов для регистрации ЭКГ, а также пульсовой волны (ФПГ). В последние годы стали активно изучать возможности использования этих устройств не только для простой записи ЭКГ и ФПГ, но и оценки других показателей сердечной деятельности на основе кардиосигналов. Оценка сократительной функции ЛЖ выступает одним из важнейших показателей работы сердца, требующим частого



**Рисунок 3.** ROC-анализ параметров ЭКГ, достоверно ассоциированных с ФВ менее 40%

**Figure 3.** ROC curve for ECG parameters significantly associated with EF below 40%

контроля при различных заболеваниях сердечно-сосудистой системы, в том числе при сердечной недостаточности. На сегодняшний день уже разработаны алгоритмы оценки систолической функции ЛЖ на основе стандартной 12-канальной ЭКГ без дополнительного частотного анализа [17–20]. Один из подобных алгоритмов был весьма точен в выявлении систолической дисфункции ЛЖ (AUC 0,93, чувствительность 86,3%, специфичность 85,7% точность 85,7%), однако прогностическая ценность положительных результатов составила лишь 33,8%. Следует также учитывать, что систолическая дисфункция ЛЖ определена при ФВ менее 35%, то есть не были рассмотрены случаи при ФВ менее 50 или 40%, хотя эти значения клинически не менее значимы [21]. В работе, проведенной в 2019 г. учеными из Греции, проанализирована возможность устройства для фотоплетизмографии отличать здоровых людей от больных сердечной недостаточностью. Несмотря на то что прибор справился с поставленной задачей, результаты не могут быть сопоставлены с нашими данными, так как определено только наличие сердечной недостаточности, без уточнения степени систолической дисфункции ЛЖ [22].

В данной работе мы изучили взаимосвязь сложных комбинированных параметров одноканальной

ЭКГ и ФПГ с систолической дисфункцией ЛЖ различной степени. По результатам исследования удалось выявить параметры, ассоциированные со снижением систолической функции ЛЖ. Наиболее

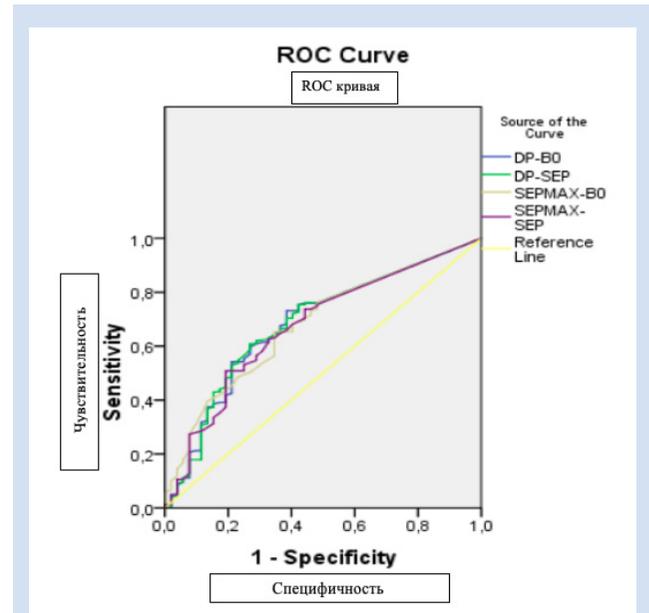


Рисунок 5. ROC analysis of PPG parameters significantly associated with a decrease in LVOT VTI less than 16 cm

Figure 5. ROC curve for PPG parameters significantly associated with LVOT VTI lower than 16 cm

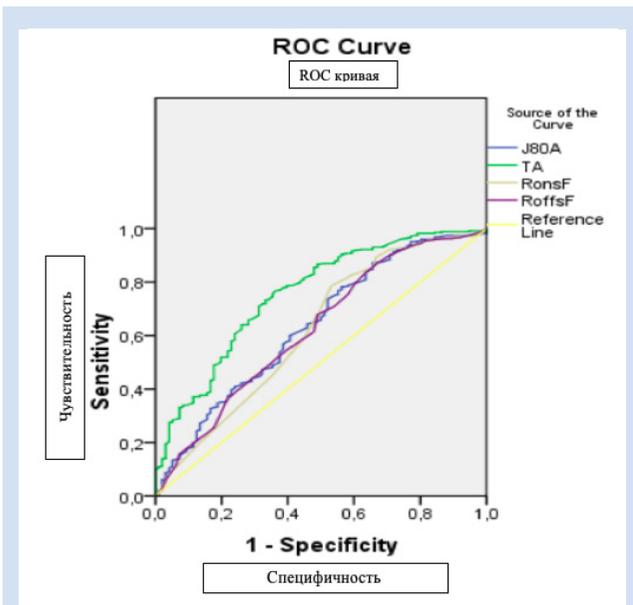


Рисунок 4. ROC-анализ параметров ЭКГ, достоверно ассоциированных с VTI в ВТЛЖ менее 16 см

Figure 4. ROC curve for ECG parameters significantly associated with LVOT VTI lower than 16 cm

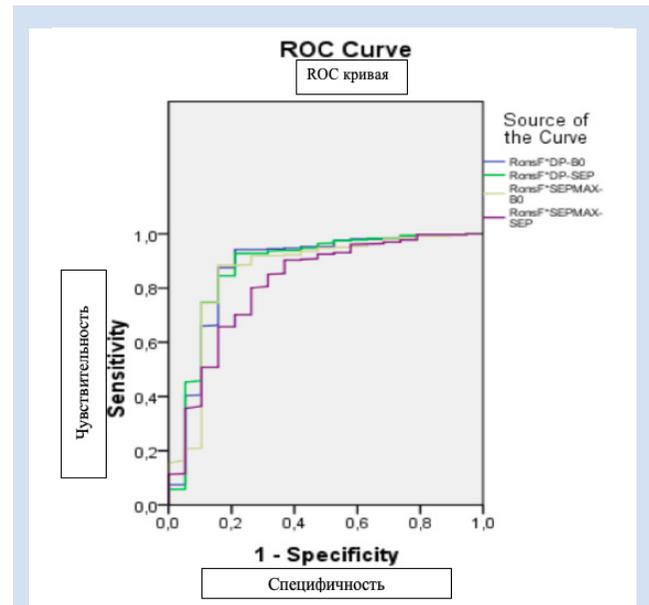


Рисунок 6. ROC-анализ параметров ЭКГ и ФПГ, достоверно ассоциированных с ФВ менее 40%

Figure 6. ROC curve for ECG and PPG parameters significantly associated with EF below 40%

Таблица 4. Диагностическая точность комбинированных параметров ЭКГ и ФПГ при фракции выброса менее 40%  
Table 4. Diagnostic accuracy of the combined ECG and PPG signals in case of EF below 40%

Параметр / Parameter	Площадь под ROC-кривой (AUC) / Area under the ROC curve (AUC)	Чувствительность / Sensitivity, %	Специфичность / Specificity, %
RonsF*DP-B0	0,873	86%	82%
RonsF*DP-SEP	0,877	86%	85%
RonsF*SEPMAX-B0	0,860	82%	83%
RonsF*SEPMAX-SEP	0,817	81%	80%

достоверными оказались параметры ЭКГ, которые были сопоставимы со снижением как ФВ, так и VTI в ВТЛЖ, то есть с двумя основными признаками систолической дисфункции ЛЖ. Параметры TA, RonsF оказались наиболее значимыми. Несмотря на то что параметры ФПГ не были достоверно взаимосвязаны с ФВ, они показали значимое соотношение со снижением VTI в ВТЛЖ (DP-B0, DP-SEP).

При проведении ROC-анализа комбинированных параметров ЭКГ и ФПГ выявлена достаточная диагностическая точность. Для комбинации параметров RonsF\*DP-SEP: площадь под кривой (AUC) составила 0,877, чувствительность 86%, специфичность 85%. Значения AUC составило более 0,8, что свидетельствует о высоком качестве метода оценки сократительной функции ЛЖ на основе комбинации параметров ЭКГ и ФПГ. Показатели чувствительности и специфичности также оказались близки к 100%, то есть могут считаться высокими. Результаты анализа комбинированных параметров ЭКГ и ФПГ применены в программном обеспечении регистра, после чего проведен второй этап работы, показавший высокие параметры диагности-

ческой точности в определении умеренного и значительного снижения систолической функции ЛЖ.

Применение портативного монитора ЭКГ с функцией фотоплетизмографии может позволить проводить предварительный скрининг сократительной функции миокарда – до выполнения расширенного ЭхоКГ-исследования. Такой скрининг поможет определять необходимость срочного выполнения ЭхоКГ, выявлять пациентов на ранних стадиях снижения систолической функции ЛЖ, а также с бессимптомным снижением сократительной функции. Возможность самостоятельного использования данного портативного прибора позволяет пациентам проводить регистрацию ЭКГ и ФПГ без помощи медицинского персонала независимо от места и времени. Это дает больному возможность осуществлять контроль состояния в различных ситуациях: при ухудшении самочувствия, на фоне физических нагрузок и т. д. Кроме того, подключение специальной программы позволит передавать данные о состоянии пациента лечащему врачу в режиме онлайн, что тем самым обеспечит своевременную коррекцию медикаментозной терапии.

**Таблица 3.** Диагностическая точность параметров ЭКГ и ФПГ при снижении систолической функции левого желудочка  
**Table 3.** Diagnostic accuracy of ECG and PPG signals in left ventricular systolic dysfunction

Параметр / Parameter	Площадь под ROC-кривой (AUC) / Area under the ROC curve (AUC)	Чувствительность / Sensitivity, %	Специфичность / Specificity, %
<b>ФВ менее 55% / EF below 55%</b>			
J80A	0,713	77%	66%
TA	0,822	80%	69%
RonsF	0,743	81%	77%
RoffsF	0,729	79%	78%
<b>ФВ менее 40% / EF below 40%</b>			
J80A	0,717	76%	73%
TA	0,915	85%	83%
RonsF	0,844	82%	82%
RoffsF	0,825	81%	79%
<b>VTI в ВТЛЖ менее 16 см / LVOT VTI lower than 16 cm</b>			
J80A	0,636	71%	68%
TA	0,755	82%	70%
RonsF	0,620	77%	72%
RoffsF	0,625	75%	73%
DP-B0	0,687	71%	74%
DP-SEP	0,684	72%	75%
SEPMAX-B0	0,680	70%	73%
SEPMAX-SEP	0,674	71%	72%

**Примечания:** ФВ – фракция выброса; VTI в ВТЛЖ – интеграл линейной скорости кровотока в выносящем тракте левого желудочка.

**Notes:** EF – ejection fraction; LVOT VTI – left ventricular outflow tract velocity time integral.

**Таблица 5.** Диагностическая точность регистратора CardioQVARK в определении систолической дисфункции левого желудочка различной степени

**Table 5.** Diagnostic accuracy of the CardioQVARK monitor in determining LV systolic dysfunction of various degrees

Параметр / Parameter	Показатель / Indicator	95% ДИ / 95% CI
<b>ФВ от 55 до 41% / EF decreased from 55% to 41%</b>		
Чувствительность / Sensitivity	77,8	57,7–91,4
Специфичность / Specificity	88,0	78,4–94,4
ПЗПР / PPV	70,0	55,0–81,6
ПЗОР / NPV	91,7	84,4–95,7
Диагностическая точность / Diagnostic accuracy	85,3	76,9–91,5
<b>ФВ менее 40% / EF below 40%</b>		
Чувствительность / Sensitivity	85,7	42,1–99,6
Специфичность / Specificity	80,0	44,4–97,48
ПЗПР / PPV	75,0	45,6–91,5
ПЗОР / NPV	88,9	55,9–98,1
Диагностическая точность / Diagnostic accuracy	82,3	56,6–96,2

**Примечания:** ДИ – доверительный интервал; ПЗПР – прогностическая значимость положительного результата; ПЗОР – прогностическая значимость отрицательного результата; ФВ – фракция выброса.

**Notes:** CI – confidence interval; EF – ejection fraction; NPV – negative predictive value; PPV – positive predictive value.

Оценка систолической функции миокарда на основе параметров ЭКГ и ФПГ, конечно, не сможет полностью заменить привычные методы диагностики функции сердца. Однако в определенных ситуациях данный метод может помочь своевременно выявить снижение сократительной функции, а также проконтролировать состояние больного, что обеспечит улучшение диагностики и ведения лиц с сердечно-сосудистыми заболеваниями.

#### Ограничения исследования

В работу не были включены пациенты с тяжелой клапанной патологией, которая может влиять на систолическую функцию ЛЖ (в частности, на значение VTI в ВТЛЖ при аортальном стенозе). Также не вошли больные с нарушениями проводимости (блокадой левой ножки пучка Гиса) и установленным электрокардиостимулятором или кардиовертером-дефибриллятором, хотя оценка сократительной дисфункции ЛЖ у данных групп также важна. Кроме того, обследовано относительно небольшое количество человек, поэтому для дальнейшего изучения и внедрения данного метода в клиническую практику необходимо продолжить набор данных с включением пациентов с различными заболеваниями сердечно-сосудистой системы.

#### Заключение

Показана возможность оценки систолической функции ЛЖ на основе параметров ЭКГ и ФПГ портативного регистратора CardioQVARK, что позволит расширить диагностические возможности

устройства. Регистратор может быть применен самим пациентом, без вмешательства медицинского персонала, автоматически определяет и наглядно демонстрирует наличие дисфункции миокарда, о чем незамедлительно узнает как больной, так и врач через центральный сервер CardioQVARK. Своевременная скрининговая диагностика и надлежащий контроль состояния пациента с ХСН позволят улучшить прогноз и снизить частоту тяжелых проявлений болезни.

#### Конфликт интересов

Ж.Н. Сагирова заявляет об отсутствии конфликта интересов. Н.О. Кузнецова заявляет об отсутствии конфликта интересов. А.Ю. Губина заявляет об отсутствии конфликта интересов. И. Дхиф заявляет об отсутствии конфликта интересов. Н.Ю. Мишакина заявляет об отсутствии конфликта интересов. И.В. Калошина заявляет об отсутствии конфликта интересов. Д.Г. Гогниева заявляет об отсутствии конфликта интересов. П.Ш. Чомахидзе заявляет об отсутствии конфликта интересов. Ф.Ю. Копылов заявляет об отсутствии конфликта интересов.

#### Финансирование

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации в рамках создания и развития научных центров мирового уровня «Цифровой био-дизайн и персонализированное здравоохранение» (соглашение № 075-15-2020-926).

**Приложение 1.** Исследуемые параметры ЭКГ  
**Supplement 1.** Investigated ECG parameters

Параметры, которые рассчитываются как медианы потаковых / Parameters that are calculated as the medians of the contact	<b>RR</b> – длина RR, мс / <b>RR</b> – length of RR, ms <b>TrTe</b> – длина пик T – конец T, мс / <b>TrTe</b> – peak length T – end T, ms <b>VAT</b> – время от начала QRS до R-пика, мс / <b>VAT</b> – time from the beginning of the QRS to the R-peak, ms <b>QTc</b> – величина QTc, мс / <b>QTc</b> – QTc value, ms <b>QT/TQ</b> – отношение длины QT к TQ (конец T – начало следующего QRS) / <b>QT/TQ</b> – the ratio of the length of QT to TQ (the end of T is the beginning of the next QRS) <b>HFQRS</b> – амплитуда ВЧ-компоненты QRS / <b>HFQRS</b> – RF amplitude- QRS components <b>HFSNR</b> – отношение сигнал-шум для ВЧ компоненты QRS / <b>HFSNR</b> – Signal-to-noise ratio for RF QRS components <b>JA</b> – амплитуда в точке J, мкВ / <b>JA</b> – the amplitude at the point J, mV <b>J80A</b> – амплитуда в точке J + 80 мс, мкВ / <b>J80A</b> – amplitude at the point J + 80 ms, mV <b>TA</b> – амплитуда T-волны, мкВ / <b>TA</b> – T-wave amplitude, mV
Индексы асимметрии T-волны / T-wave asymmetry indices	<b>SBeta</b> – сглаженный индекс асимметрии T-волны / <b>SBeta</b> – smoothed T-wave asymmetry index <b>Beta</b> – индекс асимметрии T-волны / <b>Beta</b> – T-wave asymmetry index
Спектральные параметры энергии / Spectral parameters of energy	<b>QRSenergy</b> – полная энергия QRS-комплекса (2-я производная) / <b>QRSenergy</b> – total energy of the QRS complex (2nd derivative) <b>Tenergy</b> – полная энергия T-волны (2-я производная) / <b>Tenergy</b> – total energy of the T-wave (2nd derivative) <b>TPenergy</b> – энергия главного пика T-волны (2-я производная) / <b>TPenergy</b> – the energy of the main peak of the T-wave (2nd derivative) <b>QRS11energy</b> – энергия переднего фронта R-волны (1-я производная) / <b>QRS11energy</b> – energy of the leading edge of the R-wave (1st derivative) <b>QRS12energy</b> – энергия заднего фронта R-волны (1-я производная) / <b>QRS12energy</b> – the energy of the rear edge of the R-wave (1st derivative) <b>QRS2energy</b> – энергия зубца R-волны (2-я производная) / <b>QRS2energy</b> – the energy of the R-wave wave (2nd derivative)

	<p><b>QRSEi</b> – энергии QRS-комплекса по частным диапазонам, задаваемым сеткой частот (2–4–8–16–32 Гц) (2-я производная) / <b>QRSEi</b> – the energy of the QRS complex over the partial ranges specified by the frequency grid (2-4-8-16-32 Hz) (2nd derivative)</p> <p><b>TEi</b> – энергии T-волны по частным диапазонам, задаваемым сеткой частот (2–4–6–8–10 Гц) (2-я производная) / <b>TEi</b> – T-wave energies in particular ranges specified by the frequency grid (2-4-6-8-10 Hz) (2nd derivative)</p>
<p>Параметры, которые рассчитываются по УКЦ (усредненному кардиоциклу) / Parameters that are calculated according to the UCC (averaged cardiocycle)</p>	<p><b>QRSw</b> – ширина QRS-комплекса (QRSfi – QRSst), мс / <b>QRSw</b> – width of the QRS complex (QRSfi – QRSst), ms</p> <p><b>PAp</b> – положительная амплитуда P (мкВ), если отсутствует положительный зубец, то ноль / <b>PAp</b> – the positive amplitude P (MV), if there is no positive wave, then zero</p> <p><b>PAn</b> – отрицательная амплитуда P (мкВ), если отсутствует отрицательный зубец, то ноль / <b>PAn</b> – the negative amplitude of P (MV), if there is no negative wave, then zero</p> <p><b>RA</b> – амплитуда R-волны, мкВ / <b>RA</b> – R-wave amplitude, MV</p> <p><b>SA</b> – амплитуда S-волны (мкВ). Если Q-волна для рассматриваемой ЭКГ оказывается больше, чем S, то амплитуда Q-волны / <b>SA</b> – S-wave amplitude (MV). If the Q-wave for the considered ECG turns is greater than S, then Q-wave amplitude</p> <p><b>Pst</b> – маркер начала P-волны (этот и все маркеры далее вычисляются относительно начала УКЦ), мс / <b>Pst</b> – marker of the beginning of the P-wave (this and all markers are further calculated relative to the beginning of the UCC), ms</p> <p><b>Pfi</b> – маркер конца P-волны, мс / <b>Pfi</b> – marker of the end of the P-wave, ms</p> <p><b>QRSst</b> – маркер начала QRS-комплекса, мс / <b>QRSst</b> – marker of the beginning of the QRS complex, ms</p> <p><b>QRSfi</b> – маркер конца QRS-комплекса, мс / <b>QRSfi</b> – marker of the end of the QRS complex, ms</p> <p><b>Tfi</b> – маркер конца T-волны, мс / <b>Tfi</b> – marker of the end of the T-wave, ms</p> <p><b>PpeakP</b> – позиция положительного пика P-волны, мс / <b>PpeakP</b> – position of the positive peak of the P-wave, ms</p> <p><b>PpeakN</b> – позиция отрицательного пика P-волны, мс / <b>PpeakN</b> – position of the negative peak of the P-wave, ms</p> <p><b>Rpeak</b> – позиция R-пика, мс / <b>Rpeak</b> – R-peak position, ms</p> <p><b>Speak</b> – позиция S-пика, мс / <b>Speak</b> – S-peak position, ms</p> <p><b>Tpeak</b> – позиция пика T-волны, мс / <b>Tpeak</b> – T-wave peak position, ms</p> <p><b>Tons</b> – точка максимального наклона на переднем фронте T-волны, мс / <b>Tones</b> – the point of maximum slope on the anterior leg of the T-wave, ms</p> <p><b>Toffs</b> – точка максимального наклона на заднем фронте T-волны, мс / <b>Toffs</b> – the point of maximum slope on the posterior leg of the T-wave, ms</p>
<p>Частотные величины / Frequency values</p>	<p><b>RonsF</b> – частота максимальной энергии переднего фронта R-волны, Гц / <b>RonsF</b> is the frequency of the maximum energy of the anterior leg of the R-wave, Hz</p> <p><b>RoffsF</b> – частота максимальной энергии заднего фронта R-волны, Гц / <b>RoffsF</b> is the frequency of the maximum energy of the posterior leg of the R-wave, Hz</p>

**Приложение 2. Исследуемые параметры ФПГ**  
**Supplement 2. Investigated parameters of FPG**

<p>Основные точки ФПГ-волны / The main points of the FPG wave</p>	<p><b>B1</b> – начало волны / <b>B1</b> – the beginning of the wave</p> <p><b>B0</b> – точка максимального роста переднего фронта / <b>B0</b> – the point of increase of the anterior leg</p> <p><b>B2</b> – точка абсолютного максимума / <b>B2</b> – the absolute maximum point</p> <p><b>SEP</b> – точка перегиба прямой систолической волны (т. е. где волна переходит от активного роста к медленному) / <b>SEP</b> – the peak of the ejection pulse wave</p> <p><b>D3</b> и <b>SEPMAX</b> – два альтернативных алгоритма для точки «пик прямой систолической волны» (D3 – пик третьей производной, SEPMAX – величина получена на основе вейвлетов) / <b>D3</b> and <b>SEPMAX</b> are two alternative algorithms for the point “peak of the ejection pulse wave” (D3 – the peak of the third derivative, SEPMAX is the value obtained on the basis of wavelets)</p> <p><b>SRP</b> – пик отраженной систолической волны / <b>SRP</b> – the peak of the reflected systolic wave</p> <p><b>DP</b> – пик диастолической волны / <b>DP</b> – peak of the diastolic wave</p>
<p>Временные интервалы между точками пульсовой волны / Time intervals between pulse wave points</p>	<p><b>B0-B1, SEP-B1, SRP-B1, SRP-B0, SRP-SEP, DP-B1, DP-B0, DP-SEP, DP-SRP, SEPMAX-B1, SEPMAX-B0, SEPMAX-SEP</b></p>
<p>Частотные параметры / Frequency parameters</p>	<p>Острота пиков трех составляющих пульсовую волну элементарных волн (прямой – <b>SEPF</b>, отраженной – <b>SRPF</b>, систолической и диастолической – <b>DPF</b>) / The sharpness of the peaks of the three waves that make up the pulse wave (ejected wave – <b>SEPF</b>, reflected – <b>SRPF</b>, systolic and diastolic – <b>DPF</b>)</p>

**Информация об авторах**

Сагирова Жанна Насибуллаевна, аспирант кафедры кардиологии, функциональной и ультразвуковой диагностики Института клинической медицины им. Н.В. Склифосовского

**Author Information Form**

Sagirova Zhanna N., Postgraduate Student, Department of Cardiology, Functional and Ultrasound Diagnostics, N.V. Sklifosovsky Institute for Clinical Medicine, Federal State

федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования Первый Московский государственный медицинский университет имени И.М. Сеченова Министерства здравоохранения Российской Федерации (Сеченовский Университет), Москва, Российская Федерация; **ORCID** 0000-0002-7795-4617

*Кузнецова Наталья Олеговна*, аспирант кафедры кардиологии, функциональной и ультразвуковой диагностики Института клинической медицины им. Н.В. Склифосовского, научный сотрудник Института персонализированной кардиологии научного центра мирового уровня «Цифровой биодизайн и персонализированное здравоохранение» федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования Первый Московский государственный медицинский университет имени И.М. Сеченова Министерства здравоохранения Российской Федерации (Сеченовский Университет), Москва, Российская Федерация; **ORCID** 0000-0003-4717-1272

*Губина Анастасия Юрьевна*, соискатель кафедры кардиологии, функциональной и ультразвуковой диагностики Института клинической медицины им. Н.В. Склифосовского федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования Первый Московский государственный медицинский университет имени И.М. Сеченова Министерства здравоохранения Российской Федерации (Сеченовский Университет), Москва, Российская Федерация; **ORCID**

*Дхиф Инес*, аспирант кафедры кардиологии, функциональной и ультразвуковой диагностики Института клинической медицины им. Н.В. Склифосовского федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования Первый Московский государственный медицинский университет имени И.М. Сеченова Министерства здравоохранения Российской Федерации (Сеченовский Университет), Москва, Российская Федерация; **ORCID**

*Мишакина Надежда Юрьевна*, ассистент кафедры кардиологии, функциональной и ультразвуковой диагностики Института клинической медицины им. Н.В. Склифосовского федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования Первый Московский государственный медицинский университет имени И.М. Сеченова Министерства здравоохранения Российской Федерации (Сеченовский Университет), Москва, Российская Федерация; **ORCID** 0000-0002-3626-0299

*Калошина Ирина Всеволодовна*, ассистент кафедры кардиологии, функциональной и ультразвуковой диагностики Института клинической медицины им. Н.В. Склифосовского федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования Первый Московский государственный медицинский университет имени И.М. Сеченова Министерства здравоохранения Российской Федерации (Сеченовский Университет), Москва, Российская Федерация; **ORCID** 0000-0002-7212-2758

*Гогниева Дарья Геннадиевна*, ассистент кафедры кардиологии, функциональной и ультразвуковой диагностики Института клинической медицины им. Н.В. Склифосовского, научный сотрудник Института персонализированной кардиологии научного центра мирового уровня «Цифровой биодизайн и персонализированное здравоохранение» федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования Первый Московский государственный медицинский университет имени И.М. Сеченова Министерства здравоохранения Российской Федерации (Сеченовский Университет), Москва, Российская Федерация; **ORCID** 0000-0002-0451-2009

Autonomous Educational Institution of Higher Education I.M. Sechenov First Moscow State Medical University of the Ministry of Health of the Russian Federation (Sechenov University), Moscow, Russian Federation; **ORCID** 0000-0002-7795-4617

*Kuznetsova Natalia O.*, Postgraduate Student, Department of Cardiology, Functional and Ultrasound Diagnostics, N.V. Sklifosovsky Institute for Clinical Medicine, Researcher at the Institute of Personalized Cardiology, World-class Scientific Center “Digital Biodesign and Personalized Health Care”, Federal State Autonomous Educational Institution of Higher Education I.M. Sechenov First Moscow State Medical University of the Ministry of Health of the Russian Federation (Sechenov University), Moscow, Russian Federation; **ORCID** 0000-0003-4717-1272

*Gubina Anastasia Yu.*, PhD Candidate, Department of Cardiology, Functional and Ultrasound Diagnostics of N.V. Sklifosovsky Institute for Clinical Medicine, Federal State Autonomous Educational Institution of Higher Education I.M. Sechenov First Moscow State Medical University of the Ministry of Health of the Russian Federation (Sechenov University), Moscow, Russian Federation; **ORCID**

*DhifInes*, Postgraduate Student, Department of Cardiology, Functional and Ultrasound diagnostics of N.V. Sklifosovsky Institute for Clinical Medicine, Federal State Autonomous Educational Institution of Higher Education I.M. Sechenov First Moscow State Medical University of the Ministry of Health of the Russian Federation (Sechenov University), Moscow, Russian Federation; **ORCID**

*Mishakina Nadezhda Yu.*, Assistant at the Department of Cardiology, Functional and Ultrasound diagnostics of N.V. Sklifosovsky Institute for Clinical Medicine, Federal State Autonomous Educational Institution of Higher Education I.M. Sechenov First Moscow State Medical University of the Ministry of Health of the Russian Federation (Sechenov University), Moscow, Russian Federation; **ORCID** 0000-0002-3626-0299

*Kaloshina Irina V.*, Assistant at the Department of Cardiology, Functional and Ultrasound Diagnostics of N.V. Sklifosovsky Institute for Clinical Medicine, Federal State Autonomous Educational Institution of Higher Education I.M. Sechenov First Moscow State Medical University of the Ministry of Health of the Russian Federation (Sechenov University), Moscow, Russian Federation; **ORCID** 0000-0002-7212-2758

*Gognieva Daria G.*, Assistant at the Department of Cardiology, Functional and Ultrasound Diagnostics of N.V. Sklifosovsky Institute for Clinical Medicine, Researcher at the Institute of Personalized Cardiology, World-class Scientific Center “Digital Biodesign and Personalized Health Care”, Federal State Autonomous Educational Institution of Higher Education I.M. Sechenov First Moscow State Medical University of the Ministry of Health of the Russian Federation (Sechenov University), Moscow, Russian Federation; **ORCID** 0000-0002-0451-2009

*Чомахидзе Петр Шалвович*, доктор медицинских наук профессор кафедры кардиологии, функциональной и ультразвуковой диагностики Института клинической медицины им. Н.В. Склифосовского, ведущий научный сотрудник Института персонализированной кардиологии научного центра мирового уровня «Цифровой биодизайн и персонализированное здравоохранение» федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования Первый Московский государственный медицинский университет имени И.М. Сеченова Министерства здравоохранения Российской Федерации (Сеченовский Университет), Москва, Российская Федерация; **ORCID** 0000-0003-1485-6072

*Копылов Филипп Юрьевич*, доктор медицинских наук профессор кафедры кардиологии, функциональной и ультразвуковой диагностики Института клинической медицины им. Н.В. Склифосовского, директор Института персонализированной кардиологии научного центра мирового уровня «Цифровой биодизайн и персонализированное здравоохранение» федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования Первый Московский государственный медицинский университет имени И.М. Сеченова Министерства здравоохранения Российской Федерации (Сеченовский Университет), Москва, Российская Федерация; **ORCID** 0000-0001-5124-6383

*Chomakhidze Petr Sh.*, PhD, Professor at the Department of Cardiology, Functional and Ultrasound Diagnostics of N.V. Sklifosovsky Institute for Clinical Medicine, Leading Researcher, Institute of Personalized Cardiology, World-class Scientific Center “Digital Biodesign and Personalized Health Care”, Federal State Autonomous Educational Institution of Higher Education I.M. Sechenov First Moscow State Medical University of the Ministry of Health of the Russian Federation (Sechenov University), Moscow, Russian Federation; **ORCID** 0000-0003-1485-6072

*Kopylov Philipp Yu.*, PhD, Professor at the Department of Cardiology, Functional and Ultrasound Diagnostics of N.V. Sklifosovsky Institute for Clinical Medicine, Director of the Institute of Personalized Cardiology, World-class Scientific Center “Digital Biodesign and Personalized Health Care”, Federal State Autonomous Educational Institution of Higher Education I.M. Sechenov First Moscow State Medical University of the Ministry of Health of the Russian Federation (Sechenov University), Moscow, Russian Federation; **ORCID** 0000-0001-5124-6383

#### Вклад авторов в статью

*СЖН* – получение данных исследования, написание статьи, утверждение окончательной версии для публикации, полная ответственность за содержание

*КНО* – получение данных исследования, написание статьи, утверждение окончательной версии для публикации, полная ответственность за содержание

*ГАЮ* – интерпретация данных исследования, написание статьи, утверждение окончательной версии для публикации, полная ответственность за содержание

*ДИ* – интерпретация данных исследования, написание статьи, утверждение окончательной версии для публикации, полная ответственность за содержание

*МНЮ* – интерпретация данных исследования, написание статьи, утверждение окончательной версии для публикации, полная ответственность за содержание

*КИВ* – интерпретация данных исследования, написание статьи, утверждение окончательной версии для публикации, полная ответственность за содержание

*ГДГ* – получение данных исследования, написание статьи, утверждение окончательной версии для публикации, полная ответственность за содержание

*ЧПШ* – вклад в концепцию и дизайн исследования, получение и анализ данных исследования, написание статьи, утверждение окончательной версии для публикации, полная ответственность за содержание

*КФЮ* – вклад в концепцию и дизайн исследования, написание статьи, утверждение окончательной версии для публикации, полная ответственность за содержание

#### Author Contribution Statement

*SZhN* – data collection, manuscript writing, approval of the final version, fully responsible for the content

*KNO* – data collection, manuscript writing, approval of the final version, fully responsible for the content

*GAYu* – data interpretation, manuscript writing, approval of the final version, fully responsible for the content

*DI* – data interpretation, manuscript writing, approval of the final version, fully responsible for the content

*MNYu* – data interpretation, manuscript writing, approval of the final version, fully responsible for the content

*KIV* – data interpretation, manuscript writing, approval of the final version, fully responsible for the content

*GDG* – data collection, manuscript writing, approval of the final version, fully responsible for the content

*ChPSh* – contribution to the concept and design of the study, data collection and analysis, manuscript writing, approval of the final version, fully responsible for the content

*KFYu* – contribution to the concept and design of the study, manuscript writing, approval of the final version, fully responsible for the content

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Беленков Ю.Н., Мареев В.Ю., Агеев Ф.Т., Фомин И.В., Бадин Ю.В., Поляков Д.С., Даниелян М.О., Артемьева Е.Г., Маленкова В.Ю., Порошина Е.А., Тарловская Е.И., Смирнова Е.А., Якушин С.С., Щербинина Е.В. Истинная распространенность ХСН в европейской части Российской Федерации (госпитальный этап). Журнал сердечная недо-

статочность 2011; 12, 2: 63-68).

2. Mosterd A, Hoes AW. Clinical epidemiology of heart failure. Heart 2007;93: 1137-1146. doi: 10.1136/hrt.2003.025270.

3. Клинические рекомендации. Хроническая сердечная недостаточность. Москва: МЗ РФ 2016.

4. Yancy C.W., Jessup M., Bozkurt B., Butler J., Casey D.E.

- Jr., Drazner M.H., Fonarow G.C., Geraci S.A., Horwich T., Januzzi J.L., Johnson M.R., Kasper E.K., Levy W.C., Masoudi F.A., McBride P.E., McMurray J.J., Mitchell J.E., Peterson P.N., Riegel B., Sam F., Stevenson L.W., Tang W.H., Tsai E.J., Wilkoff B.L.; American College of Cardiology Foundation; American Heart Association Task Force on Practice Guidelines. 2013 ACCF/AHA guideline for the management of heart failure: a report of the American College of Cardiology Foundation/American Heart Association Task Force on Practice Guidelines. *J Am Coll Cardiol.* 2013;62: e147-e239. doi: 10.1016/j.jacc.2013.05.019.
5. Малов Ю.С., Борисов И.М., Галова Е.П., Яровенко И.И. Диагностические возможности электрокардиографии систолической сердечной недостаточности. *Вестник Российской Военно-Медицинской академии.* 2018; 3(63): 86–89.
6. Малов, Ю.С. Удлинение систолы желудочков — признак нарушения сократительной функции миокарда. *Вестник Санкт-Петербургского университета. Медицина.* 2016;11(1): 5-11.
7. Малов Ю.С., Марин А.И. Особенности электрокардиограммы у больных инфарктом миокарда, осложненным острой сердечной недостаточностью. *Вестник Российской Военно-Медицинской академии.* 2015; 2(50): 11-14.
8. Tuohinen S. S., Rankinen J., Skyttä T., Huhtala H., Virtanen V., Kellokumpu-Lehtinen P.L., Raatikainen P., Nikus K. Associations between ECG changes and echocardiographic findings in patients with acute non-ST elevation myocardial infarction. *Journal of Electrocardiology.* 2018; 51(2):188-194. doi: 10.1016/j.jelectrocard.2017.11.007.
9. Møller J.E., Husic M., Søndergaard E., Poulsen S.H., Egstrup K. Relation of early changes of QT dispersion to changes in left ventricular systolic and diastolic function after a first acute myocardial infarction. *Scand Cardiovasc J.* 2002;36(4):225-30. doi: 10.1080/14017430260180382.
10. Li Z.B., Wachtell K., Okin P.M., Gerds E., Liu J.E., Nieminen M.S., Jern S., Dahlöf B., Devereux R.B. Association of left bundle branch block with left ventricular structure and function in hypertensive patients with left ventricular hypertrophy: the LIFE study. *J Hum Hypertens.* 2004;18(6):397-402. doi: 10.1038/sj.jhh.1001709.
11. Deniz A., Özmen Ç., Aktaş H., Berk İ.G., Deveci O.S., Çağlayan Ç.E., Eker Akıllı R., Kanadaşi M., Demir M., Usal A. Electrocardiographic markers of left ventricular systolic dysfunction in patients with left bundle branch block. *Kardiol Pol.* 2016;74(1):25-31. doi: 10.5603/KP.a2015.0119.
12. Ikonomidis I., Katsanos S., Triantafyllidi H., Parissis J., Tzortzis S., Pavlidis G., Triviliou P., Makavos G., Varoudi M., Frogoudaki A., Vrettou A.R., Vlastos D., Lekakis J., Iliodromitis E. Pulse wave velocity to global longitudinal strain ratio in hypertension. *Eur J Clin Invest.* 2019;49(2):e13049. doi: 10.1111/eci.13049.
13. Kim D., Shim C.Y., Hong G.R., Park S., Cho I., Chang H.J., Ha J.W., Chung N. Differences in left ventricular functional adaptation to arterial stiffness and neurohormonal activation in patients with hypertension: a study with two-dimensional layer-specific speckle tracking echocardiography. *Clin Hypertens.* 2017;23:21. doi: 10.1186/s40885-017-0078-9.
14. Sugawara J., Tanabe T., Miyachi M., Yamamoto K., Takahashi K., Iemitsu M., Otsuki T., Homma S., Maeda S., Ajsaka R., Matsuda M. Non-invasive assessment of cardiac output during exercise in healthy young humans: comparison between Modelflow method and Doppler echocardiography method. *Acta Physiol Scand.* 2003;179(4):361-6. doi: 10.1046/j.0001-6772.2003.01211.x.
15. Lang R.M., Badano L.P., Mor-Avi V., Afilalo J., Armstrong A., Ernande L., Flachskampf F.A., Foster E., Goldstein S.A., Kuznetsova T., Lancellotti P., Muraru D., Picard M.H., Rietzschel E.R., Rudski L., Spencer K.T., Tsang W., Voigt J.U. 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. doi: 10.1016/j.echo.2014.10.003.
16. McDonagh T.A., Metra M., Adamo M., Gardner R.S., Baumgartner H., Böhm M., Burri H., Butler J., Čelutkienė J., Chioncel O., Cleland J.G.F., Coats A.J.S., Crespo-Leiro M.G., Farmakis D., Gilard M., Heymans S., Hoes A.W., Jaarsma T., Jankowska E.A., Lainscak M., Lam C.S.P., Lyon A.R., McMurray J.J.V., Mebazaa A., Mindham R., Muneretto C., Francesco Piepoli M., Price S., Rosano G.M.C., Ruschitzka F., Kathrine Skibellund A.; ESC Scientific Document Group. 2021 ESC Guidelines for the diagnosis and treatment of acute and chronic heart failure. *Eur Heart J.* 2021;42(36):3599-3726. doi: 10.1093/eurheartj/ehab368.
17. Chang A., Cadaret L.M., Liu K. Machine Learning in Electrocardiography and Echocardiography: Technological Advances in Clinical Cardiology. *Curr Cardiol Rep.* 2020;22(12):161. doi: 10.1007/s11886-020-01416-9.
18. Adedinsewo D., Carter R.E., Attia Z., Johnson P., Kashou A.H., Dugan J.L., Albus M., Sheele J.M., Bellolio F., Friedman P.A., Lopez-Jimenez F., Noseworthy P.A. Artificial Intelligence-Enabled ECG Algorithm to Identify Patients With Left Ventricular Systolic Dysfunction Presenting to the Emergency Department With Dyspnea. *Circ Arrhythm Electrophysiol.* 2020;13(8):e008437. doi: 10.1161/CIRCEP.120.008437.
19. Attia Z.I., Kapa S., Yao X., Lopez-Jimenez F., Mohan T.L., Pellikka P.A., Carter R.E., Shah N.D., Friedman P.A., Noseworthy P.A. Prospective validation of a deep learning electrocardiogram algorithm for the detection of left ventricular systolic dysfunction. *J Cardiovasc Electrophysiol.* 2019;30(5):668-674. doi: 10.1111/jce.13889.
20. O'Neal W.T., Mazur M., Bertoni A.G., Bluemke D.A., Al-Mallah M.H., Lima J.A.C., Kitzman D., Soliman E.Z. Electrocardiographic Predictors of Heart Failure With Reduced Versus Preserved Ejection Fraction: The Multi-Ethnic Study of Atherosclerosis. *J Am Heart Assoc.* 2017;6(6):e006023. doi: 10.1161/JAHA.117.006023.
21. Attia Z.I., Kapa S., Lopez-Jimenez F., McKie P.M., Ladewig D.J., Satam G., Pellikka P.A., Enriquez-Sarano M., Noseworthy P.A., Munger T.M., Asirvatham S.J., Scott C.G., Carter R.E., Friedman P.A. Screening for cardiac contractile dysfunction using an artificial intelligence-enabled electrocardiogram. *Nat Med.* 2019;25(1):70-74. doi: 10.1038/s41591-018-0240-2.
22. Baldoumas G.; Peschos D.; Tatsis G.; Chronopoulos S.K.; Christofilakis V.; Kostarakis P.; Varotsos P.; Sarlis N.V.; Skordas E.S.; Bechlioulis A.; Michalis L.K.; Naka K.K. A Prototype Photoplethysmography Electronic Device that Distinguishes Congestive Heart Failure from Healthy Individuals by Applying Natural Time Analysis. *Electronics.* 2019; 8(11):1288. doi:10.3390/electronics8111288

## REFERENCES

1. Belenkov Yu.N., Mareev V.Yu., Ageev F.T., Fomin I.V., Badin Yu.V., Polyakov D.S., Danielyan M.O., Artemyeva E.G., Malenkova V.Yu., Poroshina E.A., Tarlovskaya E.I., Smirnova E. A., Yakushin S.S., Shcherbinina E.V. The true prevalence of CHF in the European part of the Russian Federation (hospital stage). *Zhurnal serdechnaya nedostatochnost* 2011; 12, 2: 63-68. (In Russian)
2. Mosterd A, Hoes AW. Clinical epidemiology of heart failure. *Heart* 2007;93: 1137–1146. doi: 10.1136/hrt.2003.025270.
3. Clinical guidelines. Chronic heart failure. Moscow: of the Ministry of Health of the Russian Federation 2016. (In Russian)
4. Yancy C.W., Jessup M., Bozkurt B., Butler J., Casey D.E. Jr., Drazner M.H., Fonarow G.C., Geraci S.A., Horwich T., Januzzi J.L., Johnson M.R., Kasper E.K., Levy W.C., Masoudi F.A., McBride P.E., McMurray J.J., Mitchell J.E., Peterson P.N.,

- Riegel B., Sam F., Stevenson L.W., Tang W.H., Tsai E.J., Wilkoff B.L.; American College of Cardiology Foundation; American Heart Association Task Force on Practice Guidelines. 2013 ACCF/AHA guideline for the management of heart failure: a report of the American College of Cardiology Foundation/American Heart Association Task Force on Practice Guidelines. *J Am Coll Cardiol.* 2013;62: e147-e239. doi: 10.1016/j.jacc.2013.05.019.
5. Malov Yu.S., Borisov I.M., Galova E.P., Yarovenko I.I. Diagnostic capabilities of electrocardiography systolic heart failure. *Bulletin of the Russian Military Medical Academy.* 2018. № 3 (63). С. 86–89. (In Russian)
6. Malov Yu.S. Prolonged ventricular systole is an indicator of the heart contractile function. *Vestnik of Saint Petersburg University. Medicine,* 2016, 11(1), 5-11. In Russian Retrieved from (In Russian)
7. Malov Yu.S., Marin A.I. Diagnosis of acute heart failure in patients with myocardial infarction by electrocardiography method. *Bulletin of the Russian Military Medical Academy.* 2015; 2(50): 11-14. (In Russian)
8. Tuohinen S. S., Rankinen J., Skyttä T., Huhtala H., Virtanen V., Kellokumpu-Lehtinen P.L., Raatikainen P., Nikus K. Associations between ECG changes and echocardiographic findings in patients with acute non-ST elevation myocardial infarction. *Journal of Electrocardiology.* 2018; 51(2):188-194. doi: 10.1016/j.jelectrocard.2017.11.007.
9. Møller J.E., Husic M., Søndergaard E., Poulsen S.H., Egstrup K. Relation of early changes of QT dispersion to changes in left ventricular systolic and diastolic function after a first acute myocardial infarction. *Scand Cardiovasc J.* 2002;36(4):225-30. doi: 10.1080/14017430260180382.
10. Li Z.B., Wachtell K., Okin P.M., Gerds E., Liu J.E., Nieminen M.S., Jern S., Dahlöf B., Devereux R.B. Association of left bundle branch block with left ventricular structure and function in hypertensive patients with left ventricular hypertrophy: the LIFE study. *J Hum Hypertens.* 2004;18(6):397-402. doi: 10.1038/sj.jhh.1001709.
11. Deniz A., Özmen Ç., Aktaş H., Berk İ.G., Deveci O.S., Çağlıyan Ç.E., Eker Akıllı R., Kanadaşı M., Demir M., Usal A. Electrocardiographic markers of left ventricular systolic dysfunction in patients with left bundle branch block. *Kardiol Pol.* 2016;74(1):25-31. doi: 10.5603/KP.a2015.0119.
12. Ikonomidis I., Katsanos S., Triantafyllidi H., Parissis J., Tzortzis S., Pavlidis G., Triviliou P., Makavos G., Varoudi M., Frogoudaki A., Vrettou A.R., Vlastos D., Lekakis J., Iliodromitis E. Pulse wave velocity to global longitudinal strain ratio in hypertension. *Eur J Clin Invest.* 2019;49(2):e13049. doi: 10.1111/eci.13049.
13. Kim D., Shim C.Y., Hong G.R., Park S., Cho I., Chang H.J., Ha J.W., Chung N. Differences in left ventricular functional adaptation to arterial stiffness and neurohormonal activation in patients with hypertension: a study with two-dimensional layer-specific speckle tracking echocardiography. *Clin Hypertens.* 2017;23:21. doi: 10.1186/s40885-017-0078-9.
14. Sugawara J., Tanabe T., Miyachi M., Yamamoto K., Takahashi K., Iemitsu M., Otsuki T., Homma S., Maeda S., Ajisaka R., Matsuda M. Non-invasive assessment of cardiac output during exercise in healthy young humans: comparison between Modelflow method and Doppler echocardiography method. *Acta Physiol Scand.* 2003;179(4):361-6. doi: 10.1046/j.0001-6772.2003.01211.x.
15. Lang R.M., Badano L.P., Mor-Avi V., Afilalo J., Armstrong A., Ernande L., Flachskampf F.A., Foster E., Goldstein S.A., Kuznetsova T., Lancellotti P., Muraru D., Picard M.H., Rietzschel E.R., Rudski L., Spencer K.T., Tsang W., Voigt J.U. 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. doi: 10.1016/j.echo.2014.10.003.
16. McDonagh T.A., Metra M., Adamo M., Gardner R.S., Baumbach A., Böhm M., Burri H., Butler J., Čelutkienė J., Chioncel O., Cleland J.G.F., Coats A.J.S., Crespo-Leiro M.G., Farmakis D., Gilard M., Heymans S., Hoes A.W., Jaarsma T., Jankowska E.A., Lainscak M., Lam C.S.P., Lyon A.R., McMurray J.J.V., Mebazaa A., Mindham R., Muneretto C., Francesco Piepoli M., Price S., Rosano G.M.C., Ruschitzka F., Kathrine Skibellund A.; ESC Scientific Document Group. 2021 ESC Guidelines for the diagnosis and treatment of acute and chronic heart failure. *Eur Heart J.* 2021;42(36):3599-3726. doi: 10.1093/eurheartj/ehab368.
17. Chang A., Cadaret L.M., Liu K. Machine Learning in Electrocardiography and Echocardiography: Technological Advances in Clinical Cardiology. *Curr Cardiol Rep.* 2020;22(12):161. doi: 10.1007/s11886-020-01416-9.
18. Adedinsewo D., Carter R.E., Attia Z., Johnson P., Kashou A.H., Dugan J.L., Albus M., Sheele J.M., Bellolio F., Friedman P.A., Lopez-Jimenez F., Noseworthy P.A. Artificial Intelligence-Enabled ECG Algorithm to Identify Patients With Left Ventricular Systolic Dysfunction Presenting to the Emergency Department With Dyspnea. *Circ Arrhythm Electrophysiol.* 2020;13(8):e008437. doi: 10.1161/CIRCEP.120.008437.
19. Attia Z.I., Kapa S., Yao X., Lopez-Jimenez F., Mohan T.L., Pellikka P.A., Carter R.E., Shah N.D., Friedman P.A., Noseworthy P.A. Prospective validation of a deep learning electrocardiogram algorithm for the detection of left ventricular systolic dysfunction. *J Cardiovasc Electrophysiol.* 2019;30(5):668-674. doi: 10.1111/jce.13889.
20. O'Neal W.T., Mazur M., Bertoni A.G., Bluemke D.A., Al-Mallah M.H., Lima J.A.C., Kitzman D., Soliman E.Z. Electrocardiographic Predictors of Heart Failure With Reduced Versus Preserved Ejection Fraction: The Multi-Ethnic Study of Atherosclerosis. *J Am Heart Assoc.* 2017;6(6):e006023. doi: 10.1161/JAHA.117.006023.
21. Attia Z.I., Kapa S., Lopez-Jimenez F., McKie P.M., Ladewig D.J., Satam G., Pellikka P.A., Enriquez-Sarano M., Noseworthy P.A., Munger T.M., Asirvatham S.J., Scott C.G., Carter R.E., Friedman P.A. Screening for cardiac contractile dysfunction using an artificial intelligence-enabled electrocardiogram. *Nat Med.* 2019;25(1):70-74. doi: 10.1038/s41591-018-0240-2.
22. Baldoumas G.; Peschos D.; Tatsis G.; Chronopoulos S.K.; Christofilakis V.; Kostarakis P.; Varotsos P.; Sarlis N.V.; Skordas E.S.; Bechlioulis A.; Michalis L.K.; Naka K.K. A Prototype Photoplethysmography Electronic Device that Distinguishes Congestive Heart Failure from Healthy Individuals by Applying Natural Time Analysis. *Electronics.* 2019; 8(11):1288. doi:10.3390/electronics8111288

**Для цитирования:** Сагирова Ж.Н., Кузнецова Н.О., Губина А.Ю., Дхиф И., Мишакина Н.Ю., Калошина И.В., Гогниева Д.Г., Чомахидзе П.Ш., Копылов Ф.Ю. Возможности портативного регистратора электрокардиограммы и пульсовой волны в выявлении систолической дисфункции левого желудочка. Комплексные проблемы сердечно-сосудистых заболеваний. 2022;11(4S): 34-46. DOI: 10.17802/2306-1278-2022-11-4S-34-46

**To cite:** Sagirova Zh.N., Kuznetsova N.O., Gubina A.Yu., Dhif I., Mishakina N.Yu., Kaloshina I.V., Gognieva D.G., Chomakhidze P.Sh., Kopylov F.Yu. Possibilities of a portable electrocardiogram and pulse wave recorder in detecting left ventricular systolic dysfunction. *Complex Issues of Cardiovascular Diseases.* 2022;11(4S): 34-46. DOI: 10.17802/2306-1278-2022-11-4S-34-46