

УДК 61.616-616.1-616.12

**Молдоташев Ишенбай Курманович**

Адам университети, терапиялык дисциплиналарынын департаментинин жетекчиси,  
медицина илимдеринин доктору, профессор,  
Кыргыз Республикасы, Бишкек ш.  
e-mail: [moldotashev1953@mail.ru](mailto:moldotashev1953@mail.ru)

**Богданов Юрий Алексеевич**

Hebei DSF Geos Technology Co., LTD, директорлор кеңешинин төрагасы,  
Huailai, Shangjiakou ш., Кытай.

**Сорокин Александр Анатольевич**

КР УИА, Тоолук физиология жана медицина институту,  
биология илимдеринин кандидаты, доцент,  
Кыргыз Республикасы, Бишкек ш.  
e-mail: [aasorokin@rambler.ru](mailto:aasorokin@rambler.ru)

## САНАРИП ТЕХНОЛОГИЯЛАРДЫ КОЛДОНУУ МЕНЕН ЖҮРӨКТҮН СОЛ КАРЫНЧАСЫНДАГЫ ДИАСТОЛИКАЛЫК ДИСФУНКЦИЯНЫ ДОКЛИНИКАЛЫК ДИАГНОСТИКАЛОО

**Анотация.** Сол карынчанын диастоликалык функциясын баалоо өнөкөт жүрөк жетишсиздигин (ӨЖЖ) өнүгүүнүн клиникага чейинки стадиясында, анын прогрессиясын алдын алууга дагы эле мүмкүн болгон учурда аныктоого мүмкүндүк берет. Доплер эхокардиографиясы (ДЭХОКГ) сол карынчанын диастоликалык дисфункциясын (СКДД) диагностикалоонун эң так инвазивдүү эмес ыкмасы болуп саналат, ал кымбат жабдууларды жана окутулган адистерди талап кылат. СКДД диагностикасынын жеткиликтүү скрининг ыкмасын иштеп чыгуу актуалдуу жана иш жүзүндө маанилүү милдет болуп саналат.

**Негизги сөздөр:** өнөкөт жүрөк жетишсиздигинин клиникага чейинки диагностикасы, сол карынчанын диастоликалык дисфункциясы, доплер эхокардиографиясы, бир каналдуу электрокардиограмманын спектралдык анализи.

**Молдоташев Ишенбай Курманович**

Университет Адам, руководитель департамента терапевтических дисциплин, доктор  
медицинских наук, профессор,  
Кыргызская Республика, г. Бишкек.  
e-mail: [moldotashev1953@mail.ru](mailto:moldotashev1953@mail.ru)

**Богданов Юрий Алексеевич**

председатель совета директоров, Hebei DSF Geos Technology Co., LTD,  
Huailai, Shangjiakou City, Китай.

**Сорокин Александр Анатольевич**

НАН КР, Институт горной физиологии и медицины,  
кандидат биологических наук, доцент,  
Кыргызская Республика, г. Бишкек.  
e-mail: [aasorokin@rambler.ru](mailto:aasorokin@rambler.ru)

## ДОКЛИНИЧЕСКАЯ ДИАГНОСТИКА ДИАСТОЛИЧЕСКОЙ ДИСФУНКЦИИ ЛЕВОГО ЖЕЛУДОЧКА СЕРДЦА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ЦИФРОВОЙ ТЕХНОЛОГИИ

**Аннотация** Оценка диастолической функции левого желудочка (ДФЛЖ) позволяет выявлять хроническую сердечную недостаточность (ХСН) на доклинической стадии развития, когда еще можно предупредить ее прогрессирование. Допплерэхокардиография (ДЭХОКГ) является наиболее точным неинвазивным методом диагностики диастолической дисфункции левого желудочка сердца (ДДЛЖ), требующая дорогостоящего оборудования и подготовленных специалистов. Разработка доступного скринингового метода для диагностики ДДЛЖ является актуальной и практически значимой задачей.

**Ключевые слова:** доклиническая диагностика хронической сердечной недостаточности, диастолическая дисфункция левого желудочка, доплерэхокардиография, спектральный анализ одноканальной электрокардиограммы.

**Moldotashev Ishenbay Kurmanovich**

Adam University, Head of the Department of Therapeutic Disciplines,  
Kyrgyz Republic, Bishkek.

e-mail: moldotashev1953@mail.ru

**Bogdanov Yuriy Alekseyevich**

Chairman of the Board of Directors, Hebei DSF Geos Technology Co., LTD,  
Huailai, Shangjiakou City, China.

**Sorokin Alexander Anatolyevich**

Candidate of Biological Sciences, Associate Professor,  
Institute of Mountain Physiology and Medicine, National Academy of Sciences of the KR,  
Kyrgyz Republic, Bishkek.

e-mail: aasorokin@rambler.ru

## PRECLINICAL DIAGNOSIS OF LEFT VENTRICULAR DIASTOLIC DYSFUNCTION USING DIGITAL TECHNOLOGY

**Annotation.** Assessment of diastolic function of the left ventricle (LVDF) makes it possible to detect chronic heart failure (CHF) at the preclinical stage of development, when its progression can still be prevented. Doppler echocardiography (DEchoCG) is the most accurate non-invasive diagnostic method for left ventricular diastolic dysfunction (LVDD), requiring expensive equipment and trained professionals. The development of an accessible screening method for the diagnosis of LVDD is an urgent and practically significant task.

**Keywords:** preclinical diagnosis of chronic heart failure; diastolic dysfunction of the left ventricle; doppler echocardiography; spectral analysis of a single-channel electrocardiogram

Хроническая сердечная недостаточность является исходом практически всех сердечно-сосудистых заболеваний. Распространенность ее увеличивается с возрастом: примерно с 1% для лиц моложе 55 лет до более 10% для лиц в возрасте 70 лет и старше.

Причинами ее в большинстве случаев являются коронарная болезнь сердца и артериальная гипертензия [1]. Исследования, объединяющие Framingham Heart Study и когорты исследования сердечно-сосудистых заболеваний приводят данные о 67% смертности в течение 5 лет после постановки диагноза ХСН [2]. С точки зрения современных представлений о сердечно-сосудистом континууме, сердечно-сосудистые заболевания возникают под воздействием факторов риска и затем неуклонно прогрессируют, осложняясь в конечном счете в ХСН. При этом вначале выявляется ДДЛЖ как компенсаторная реакция на повышение давления в левом желудочке и/или развития атеросклеротического кардиосклероза, переходящая в дальнейшем в диастолическую сердечную недостаточность, когда уже появляются клинические признаки ХСН. Эта стадия именуется ХСН с сохраненной фракцией выброса левого желудочка, которая может длиться достаточно длительное время в последствии осложняясь систолической сердечной недостаточностью, приводящей к трагическому финалу [3]. Для предупреждения прогрессирования ХСН очень важно диагностировать ее на стадии ДДЛЖ, когда лечебно-профилактические вмешательства наиболее эффективны. В настоящее время с этой целью широко используется в клинической практике метод ДЭХОКГ в различных модификациях. Однако этот метод не может применяться для массовых популяционных скринирующих исследований из-за того, что требуется дорогостоящее оборудование, подготовленные специалисты и длительное время для обследования. В связи с этим в работе предлагается использовать новый способ диагностики ДДЛЖ, который верифицирован с методом ДЭХОКГ в качестве эталона.

Цель исследования: изучить диагностическую ценность, чувствительность и специфичность предложенного нами метода спектрального анализа одноканальной электрокардиограммы (ОЭКГ) для диагностики диастолической дисфункции левого желудочка по сравнению с доплерэхокардиографией в качестве эталона.

Материал и методы. Обследовано 60 человек (35 пациентов, находящихся на программном гемодиализе с артериальной гипертензией и 25 практически здоровых лиц) в возрасте от 20 до 65 лет. Среди них было 36 мужчин и 24 женщины. ДЭХОКГ проводилась на аппарате SonoSite Micro Maxx Belse X2. ДФЛЖ определялась по общепринятой методике [4]. ОЭКГ снимали с помощью портативного регистратора DuoEK 118 компании Leri Medical (рис.1).

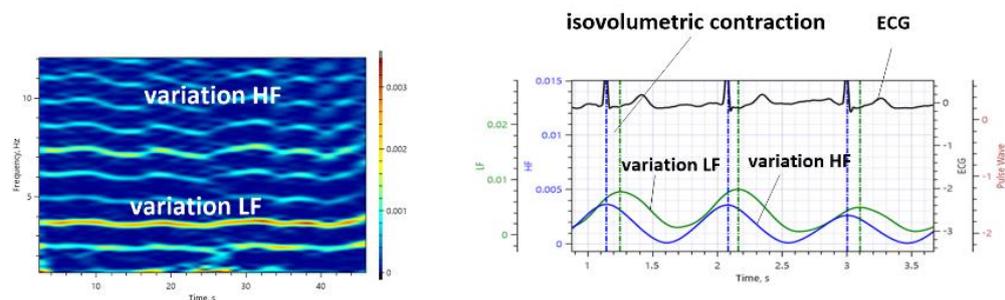


Рис. 1. Одноканальный мобильный кардиограф используется для снятия ЭКГ с пальцев рук с последующей передачей сигнала через смартфон

в центр для спектрального анализа.

ДФЛЖ методом спектрального анализа ЭКГ определяли как отношение суммы мощности гармоник в период раннего диастолического наполнения к сумме мощности гармоник в период сокращения предсердий. Анализ ЭКГ проводился с помощью периодограммы, отражающей зависимость распределения мощности сигнала в зависимости от частоты, то есть мощность, приходящуюся на единичный интервал частоты в заданном интервале времени. Для временного усреднения использовался усовершенствованный метод Бартлетта и Уэлча [5]. В нем временной ряд записи кардиограммы разбивается на перекрывающиеся сегменты. Потом вычисляется модифицированная периодограмма для каждого сегмента, а затем усредняются эти оценки, чтобы получить оценку спектральной плотности мощности сигнала.

Наиболее распространенным представлением спектрограммы является двумерная диаграмма: на горизонтальной оси представлено время  $t$ , по вертикальной оси — частота  $F$ ; третье измерение - мощность на определенной частоте в конкретный момент времени отображается яркостью или цветом каждой точки изображения (рис.2).



**Рис.2 .** Типичный вид спектрограммы ЭКГ (справа) и диаграмма временной задержки спектральной мощности сигналов вариальности низкой частоты LF относительно высокой частоты HF.

Таким образом, алгоритм обработки кардиосигналов основан на принципе выделения в широкополосных сигналах кардиограммы вариаций LF компонентов временного ряда, вариационных циклов HF и определения их задержки относительно друг друга (задержка реакции сигнала). Среднее время  $\overline{t_{зэ}}$  задержки между первым максимумом вариальности спектральной мощности сигналов (HF), совпадающим по времени с R-зубцом и соседним максимумом вариальности (LF) сосудистой системы организма определяет интервал изоволюметрического сокращения сердца (рис.2). Характерно, что время  $\overline{t_{зэ}}$  формируется самой сердечно сосудистой системой и является ее основным свойством.

В виду инерционности стенок сосудов достижение наивысшего значения давления происходит с задержкой по времени. В то же время, растяжение стенок сопровождается их напряжением и сопутствующим увеличением интенсивности кардиосигнала. Сигнал интенсивности при этом, изменяет свою форму, что находит своё отражение и в

спектральном составе излучения и, соответственно, в вариабельности спектральной мощности сигналов (LF) и (HF) сосудистой системы организма. Таким образом в спектре сигнала ЭКГ присутствуют, как сигналы фазы диастолы, так и систолы. На графиках спектральной мощности это проявляется в виде двухуровневых вершин (рис.3).

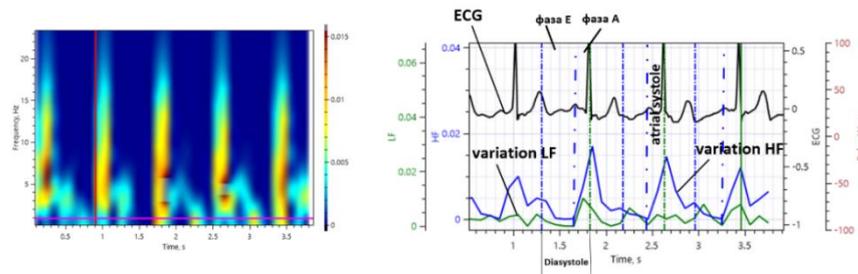


Рис. 3. Типичный вид спектрограммы ЭКГ (справа) при коротких сегментах анализа и диаграмма задержки спектральной мощности сигналов вариабельности LF и HF.

На рис.3 показано как определяются интервалы диастолы и систолы предсердий. На этих интервалах получаем для фрагментов фазы E и фазы A электрокардиографические сигналы мощности спектров, что иллюстрируется на рис 4.

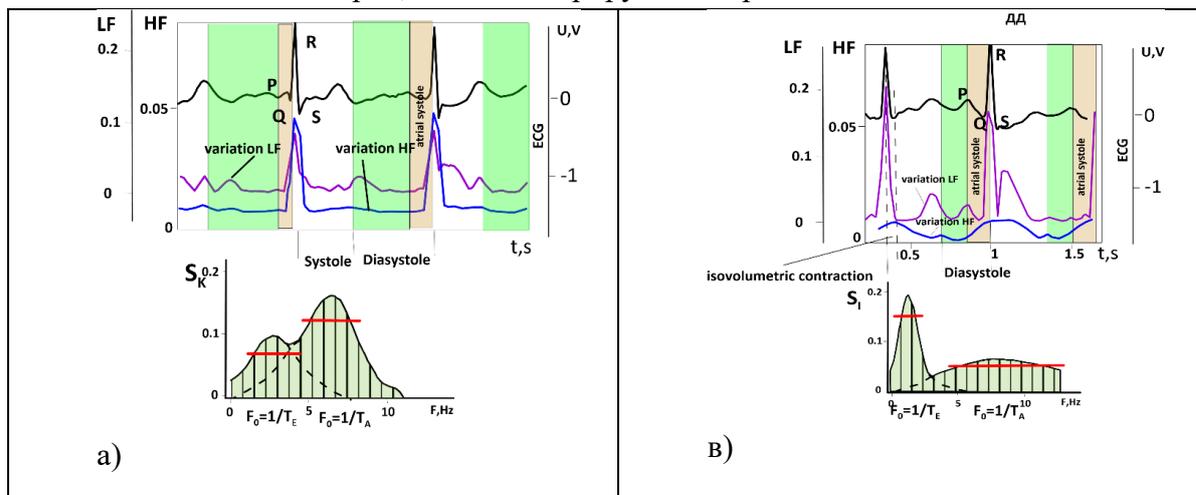


Рис. 4. Диаграмма сумм мощности гармоник в период раннего диастолического наполнения и суммы мощности гармоник в период сокращения предсердий: а) -для здорового организма, в) с признаками диастолической дисфункции, где  $T_E, T_A$  – период основной гармоники колебаний сигнала фазы E и A соответственно,  $F_E$  и  $F_A$  -частоты основных гармоник.

ДФЛЖ методом спектрального анализа ЭКГ определяли как отношение суммы мощности гармоник в период раннего диастолического наполнения(Е) к сумме мощности гармоник в период сокращения предсердий (А). Если отношение Е/А было больше 1 диагностировалась нормальная диастолическая функция, если меньше 1 то определялась ДДЛЖ. Частотные интервалы определялись по ширине мощности кардиосигнала по уровню 0.7 от максимального значения спектра мощности компонент Е и А в окрестности их частот основных гармоник  $F_0=1/T_E$  и  $F_0=1/T_A$ .

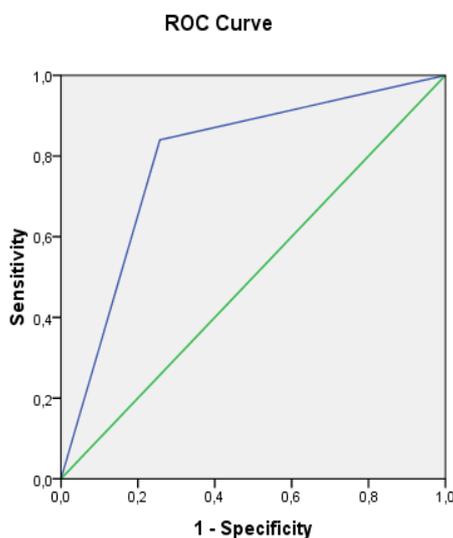
**Таблица 1.** Перекрестно-корреляционная таблица сравнения результатов использования доплерэхокардиографии (ДЭХОКГ) и метода спектрального анализа одноканальной электрокардиограммы (ОЭКГ) для диагностики диастолической дисфункции левого желудочка сердца (ДДЛЖ).

		ДЭХОКГ		
		ДДЛЖ есть	ДДЛЖ нет	Всего
ОЭКГ	ДДЛЖ есть	26	4	30
	ДДЛЖ нет	9	21	30
	Всего	35	25	60

Согласно представленным в таблице результатам:

Чувствительность: 0.74 , Специфичность: 0.84, Позитивная предсказательная значимость: 0.87, Отрицательная предсказательная значимость: 0.70

Рис. 5. Кривая ROC - это широко используемый метод оценки диагностической эффективности теста путем построения графика истинно положительных результатов (чувствительность) против значения ложноположительных результатов (1-специфичность). Кривая обеспечивает оценку общей точности теста при различении положительных и отрицательных случаев.



Diagonal segments are produced by ties.

Рис.5.

Table 2. Оценка площади под кривой AUC

area	Std. error	Asymptotic Sig.	Asymptotic 95% Confidence Interval	
			lower bound	upper bound
0.791	0.061	.000	0.672	0.911

AUC (Area Under the Curve) - площадь под кривой представляет собой сводную статистику кривой ROC со значениями в диапазоне от 0.5 (указывает на случайное распознавание) до 1.0 (указывает на идеальное распознавание). Чем выше значение AUC, тем лучше диагностическая эффективность теста.

Чувствительность разработанного нами метода составила 0.74, а специфичность 0.84. Хи-квадрат: 15.043,  $P=0.000$  - наличие связи статистически высоко значимо.  $\Phi=0.514$ ,  $P=0.000$  - наличие связи высоко значимо. Площадь под кривой (Area Under the Curve) равна  $0.791+0.067$  с доверительным интервалом от 0.672 до 0.911. Полученные значения свидетельствуют о том, что оценки ОЭКГ являются достаточно хорошими предикторами ДДЛЖ. К настоящему моменту метод апробирован у более 1000 практически здоровых лиц и пациентов с различными заболеваниями в сравнении с ДЭХОКГ (коэффициент корреляции составил в среднем 0,85).

Диастолическая дисфункция это патологическое состояние связанное с нарушением миокардиального расслабления и/или снижением податливости левого желудочка, которые приводят к повышению давления наполнения в левом желудочке [6]. В начале она носит компенсаторный характер, но рано или поздно происходит истощение компенсаторных механизмов, появляются клинические симптомы ХСН и наступает этап диастолической сердечной недостаточности, которую сейчас еще называют сердечной недостаточностью с сохраненной фракцией выброса левого желудочка [7,8]. Однако важно понимать, что, хотя ДД является основным фактором приводящим к развитию сердечной недостаточности с сохраненной фракцией выброса левого желудочка, эти термины в свете современных представлений не являются взаимозаменяемыми [9]. Учитывая неизбежный процесс прогрессирования ДД до диастолической, а затем и до систолической сердечной недостаточности, становится понятной необходимость доклинической диагностики ХСН на этапе ДД [10,11]. Актуальность такой задачи возрастает также в связи с высокой ее распространенностью, от 20 до 36% в популяции [3,12]. Доказана ценность диагностики ДДЛЖ и для прогнозирования исходов кардиохирургических операций [13,14,15].

Наиболее точно установить диагноз ДД можно инвазивным путем, но этот метод не может использоваться для широкой клинической практики [3,7]. Для неинвазивной оценки ДДЛЖ в настоящее время наиболее часто используется ЭХОКГ [3,4,6]. Выявление ДДЛЖ основывается на комплексной оценке большого количества ЭХОКГ параметров: размера и объема левого предсердия, доплеровских показателей трансмитрального потока и потока легочных вен, данных тканевой доплерографии, компьютерной томографии и двумерного отслеживания пятен серой шкалы (speckle tracking imaging или 2D-strain) [6,16,17,18]. В общеклинической практике чаще всего используется метод ДЭХОКГ [19]. При этом определяется отношение скорости раннего диастолического наполнения (Е) к скорости кровотока в фазу сокращения предсердий (А). По отношению Е/А оценивают степень диастолического расслабления, что может характеризовать жесткость миокарда. По результатам ДЭХОКГ ДДЛЖ подразделяется на 3 стадии: 1) легкая (степень 1 или 1а), определяемая как нарушение релаксации без или с легкими признаками повышения давления наполнения соответственно; 2) умеренная (степень 11), определяемая как нарушение релаксации, связанное с умеренным повышением давления наполнения или

псевдонормальным наполнением; и 3) тяжелая, определяемая как выраженное снижение податливости или обратимое (степень 111) или фиксированное (степень 1У) рестриктивное наполнение [3].

Магнитно-резонансная томография сердца с тегами может применяться в качестве неинвазивного метода для получения информации о деформации миокарда и оценки ДФЛЖ [20]. Однако, ограниченное временное разрешение МРТ наряду с высокими затратами, ограничивает ее широкое использование. ДЭХОКГ методы также не могут использоваться для массовых скринирующих исследований из-за необходимости дорогостоящего оборудования и необходимости подготовленных специалистов. В этом отношении заслуживает внимание оценка ДФЛЖ с помощью ЭКГ [21,22]. Holmqvist и соавт. [22] предложили использовать новый ЭКГ индекс Tend-P / ( PQxAge для ДДЛЖ, точность которого повышается при добавлении индекса объема левого предсердия. Недостатком этого метода является необходимость совместного использования ЭКГ и ЭХОКГ. Исследования Н.О.Кузнецовой и соавт. [23] выявили параметры одноканальной ЭКГ, имеющие высокую корреляцию с наличием значимой диастолической и систолической дисфункции ЛЖ. Авторы рекомендуют использование указанных параметров для дистанционной оценки функции миокарда. К недостаткам предлагаемого метода можно отнести, как указывают сами авторы, ограничения по применению, например в случае исследования пациентов, имевших нарушения ритма и проводимости сердца. Кроме того, существуют определенные методические трудности в определении таких параметров как максимальная крутизна зубцов, сложности в определении маркеров начала или конца волны (P, QRS), смещение максимумов значений. В отличие от этого, предлагаемый нами метод имеет следующие преимущества: автоматическое определение моментов наступления и окончания фазы E и фазы A, установление вклада каждой гармоник в совокупный кардиосигнал, что позволяет осуществить математическое моделирование различных патологических состояний организма [24].

Таким образом, предлагаемый нами метод спектрального анализа ОЭКГ обладает высокой чувствительностью и достаточной специфичностью для диагностики ДДЛЖ сердца. Данный метод может быть использован для дистанционных массовых скринирующих исследований с целью доклинической диагностики ХСН.

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. McDonagh T.A., Metra M., Adamo M et al. 2021 ESC guidelines for the diagnosis and treatment of acute and chronic heart failure: developed by the task force for the diagnosis and treatment of acute and chronic heart failure of the European Society of Cardiology (ESC) with the special contribution of the Heart Failure Association (HFA) of the ESC. European Heart Journal, volume 42, Issue 36, 21 September 2021, Pages 3599-3726, <https://doi.org/10.1093/eurheartj/ehab368>.
2. Tsao CW, Lyass A, Enserro D et al. Temporal trends in the incidence of and mortality associated with heart failure with preserved and reduced ejection fraction. JACC Heart Fail 2018; 6:678-685.

3. Siu-Hin Wan, Mark W Vogel, Horng H Chen. Pre-clinical diastolic dysfunction. *J Am Coll Cardiol.* 2014 Feb 11; 63(5): 407-16. doi: 10.1016.
4. Carol Mitchell, Peter S. Ranko, Lori A. Blauncet et al. Guidelines for performing a comprehensive transthoracic echocardiographic examination in adults: recommendations from the American Society of Echocardiography. *Guidelines and standards 2019, v.32, issue1, p.1-64.*
5. Марпл-мл. С.Л. Цифровой спектральный анализ и его приложения. — М.: МИР, 1990. — С. 584
6. Nagueh SF, Appleton CP, Gillebert TC, et al. Recommendations for the evaluation of left ventricular diastolic function by echocardiography. *J Am Soc Echocardiogr.* 2009; 22: 107-33.
7. Oktay AA, Shah SJ. Diagnosis and management of heart failure with preserved ejection fraction: 10 key lessons. *Curr Cardiol Rev.* 2015;11(1):42-52. doi: 10.2174/1573403x09666131117131217.
8. Del Buono MG, Buckley L, Abbate A. Primary and Secondary Diastolic Dysfunction in Heart Failure With Preserved Ejection Fraction. *Am J Cardiol.* 2018 Nov 1;122(9):1578-1587. doi: 10.1016/j.amjcard.2018.07.012. Epub 2018 Aug 3.
9. Gilman D. Plitt, Jordan T. Spring, Michael J. Moulton, Denendra K. Agrawal. Mechanisms, diagnosis, and treatment of heart failure with preserved ejection fraction and diastolic dysfunction. *Expert Rev Cardiovasc Ther.* 2018 August; 16(8): 579–589. doi:10.1080/14779072.2018.1497485.
10. Овчинников А.Г., Потехина А.В., Ожерельева М.В., Агеев Ф.Т. Дисфункция левого желудочка при гипертоническом сердце: современный взгляд на патогенез и лечение. *Кардиология.* 2017; 57(S2), с. 367-382.
11. Димов А.С., Лещинский Л.А. Диагностика доклинических стадий хронической сердечной недостаточности. *Российский кардиологический журнал.* 2005, №5(55), с. 71-76.
12. van Riet EE, Hoes AW, Wagenaar KP, Limburg A, Landman MA, Rutten FH. Epidemiology of heart failure: the prevalence of heart failure and ventricular dysfunction in older adults over time. A systematic review. *Eur J Heart Fail.* 2016 Mar;18(3):242-52. doi: 10.1002/ejhf.483. Epub 2016 Jan 4. PMID: 26727047.
13. Kaw R, Hernandez AV, Pasupuleti V, Deshpande A, Nagarajan V, Bueno H, Coleman CI, Ioannidis JP, Bhatt DL, Blackstone EH; Cardiovascular Meta-analyses Research Group. Effect of diastolic dysfunction on postoperative outcomes after cardiovascular surgery: A systematic review and meta-analysis. *Thorac Cardiovasc Surg.* 2016 Oct;152(4):1142-53. doi: 10.1016/j.jtcvs.2016.05.057. Epub 2016 Jun 7.
14. Moldotashev I.K., Kudaibergenova N.T., Osmonov D.A. et al. Echocardiographic predictors of early postoperative periods in patients after coronary artery bypass graft surgery. “*Wiadomosci Lekarskie*”, volume LXXIY, Issue 3, Part 1, March 2021, 395-398.
15. Osmonov D.A., M. Unal., Moldotashev I.K. et al. Evaluation of complications predictors in the performance of coronary artery bypass graftin surgery in the cardiac surgery clinic “BICARD”. *Cor et Vasa;* 65: 45-49.
16. Sharifov OF, Schiros CG, Aban I, Denney TS, Gupta H. Diagnostic Accuracy of Tissue Doppler Index E/e' for Evaluating Left Ventricular Filling Pressure and Diastolic Dysfunction/Heart Failure With Preserved Ejection Fraction: A Systematic Review and Meta-Analysis. *J Am Heart Assoc.* 2016 Jan 25;5(1):e002530. doi: 10.1161/JAHA.115.002530.

17. DeVore AD, McNulty S, Alenezi F, et al. Impaired left ventricular global longitudinal strain in patients with heart failure with preserved ejection fraction: insights from RELAX trial. *Eur J Heart Fail.* 2017 Jul; 19(7):893-900. doi: 10.1002/ejhf.754. Epub 2017 Feb 14. PMID: 28194841 *Eur J Heart Fail.*

18. Taiki Chono, Keishi Ogura, Akiyoshi Hashimoto. Assessment of left ventricular systolic and diastolic function with retrospective electrocardiogram triggered 320-row area detector computed tomography: a comparison with ultrasound echocardiography. *Nihon Hoshasen Gijutsu Gakkai Zasshi.* 2015. Aug;71(8):685-90. doi: 10.6009/jjrt.2015\_JSRT\_71.8.685.

19. Smiseth OA. Evaluation of left ventricular diastolic function: state of the heart after 35 years with Doppler assessment. *J Echocardiogr.* 2018. Jun;16(2):55-64. doi: 10.1007/s12574-017-0364-2. Epub 2017 Dec 13. PMID: 29236226; PMCID: PMC5966482.

20. Azarisman SM, Teo KS, Worthley MI, Worthley SG. Cardiac magnetic resonance assessment of diastolic dysfunction in acute coronary syndrome. *J Int Med Res.* 2017 Dec;45(6):1680-1692. doi: 10.1177/0300060517698265. Epub 2017 Mar 16.

21. Mirjana M Platisa, Nicola N Radovanovic, Aleksandar Kalauzi et al. Differentiation of heart failure patients by the ratio of the scaling exponents of cardiac interbeat intervals. *Front Physiol.* 2019 May 14; 10:570. doi: 10.3389/fphys.2019.00570. eCollection 2019.

22. Holmqvist F, Platonov PG, Solomon SD, Petersson R, McNitt S, Carlson J, Zareba W, Moss AJ; MADIT-CRT Investigators. P-wave morphology is associated with echocardiographic response to cardiac resynchronization therapy in MADIT-CRT patients. *Ann Noninvasive Electrocardiol.* 2013 Nov;18(6):510-8. doi: 10.1111/anec.12121.

23. Кузнецова Н.О., Сагирова Ж.Н., Губина А.Ю. и др. Оценка функции миокарда у пациентов с хронической сердечной недостаточностью при помощи регистратора одноканальной электрокардиограммы. *Вестник новых медицинских технологий.* 2022, том 29, №1, с.46-52.

24. Трубочева Е.А., Богданов Ю.А. Выявление признаков инфицирования COVID-19 в ЭКГ по изменениям частотного спектра в базисе многочленов Лагерра. *Вестник неотложной и восстановительной медицины.* 2022. Том 2, №1. с. 61-78 ISSN: 2306-4110.