

УДК 612.067+530.182

EDN: FHMIP1

<https://doi.org/10.15275/ssmj2104423>

Оригинальная статья

## ДИНАМИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ СЕРДЕЧНОГО РИТМА ПРИ ПРОХОЖДЕНИИ ФУНКЦИОНАЛЬНОЙ ПРОБЫ ШЕСТИМИНУТНОЙ ХОДЬБЫ У ПАЦИЕНТОВ С ХРОНИЧЕСКОЙ СЕРДЕЧНОЙ НЕДОСТАТОЧНОСТЬЮ

*Н.С. Акимова, Л.Е. Коньшина, Т.М. Богданова, С.О. Торбин, В.А. Семенова, М.О. Журавлев*

*ФГБОУ ВО «Саратовский государственный медицинский университет им. В.И. Разумовского» Минздрава России, Саратов, Россия*

## DYNAMIC CHARACTERISTICS OF HEART RATE DURING A FUNCTIONAL SIX-MINUTE WALK TEST IN PATIENTS WITH CHRONIC HEART FAILURE

*N.S. Akimova, T.M. Bogdanova, S.O. Torbin, V.A. Semenova, M.O. Zhuravlev*

*V.I. Razumovsky Saratov State Medical University, Saratov, Russia*

**Для цитирования:** Акимова Н.С., Коньшина Л.Е., Богданова Т.М., Торбин С.О., Семенова В.А., Журавлев М.О. Динамические характеристики сердечного ритма при прохождении функциональной пробы шестиминутной ходьбы у пациентов с хронической сердечной недостаточностью. Саратовский научно-медицинский журнал. 2025; 21 (4): 423–429. EDN: FHMIP1. <https://doi.org/10.15275/ssmj2104423>.

**Аннотация.** Цель: провести сравнительный анализ спектральных показателей частоты сердечных сокращений (ЧСС) при выполнении теста с шестиминутной ходьбой (Т6МХ) в зависимости от приема  $\beta$ -блокаторов и выделить параметры, способные характеризовать сократительную способность и размеры полостей сердца при хронической сердечной недостаточности (ХСН). *Материал и методы.* В исследование включены пациенты с компенсированной ХСН ишемического или гипертонического генеза: больные, принимающих  $\beta$ -блокаторы (основная группа), и пациенты, не принимающие  $\beta$ -блокаторы более 1 мес до Т6МХ (группа сравнения). Участникам выполняли доплерэхокардиографию, проводили Т6МХ. В каждой стадии выполнения Т6МХ для ЧСС производили оценку спектральных показателей в частотном диапазоне [0; 1] Гц. Оценивали соотношения частот, максимально выраженных в спектре, для стадий II и I ( $f_{II}$ ), II и IV ( $f_{IIIV}$ ) Т6МХ и среднее время восстановления ЧСС. *Результаты.* У пациентов основной группы не установлено достоверных связей между соотношениями частотного состава ЧСС, показателями доплерэхокардиографии и функциональным классом ХСН. В группе сравнения более высокая фракция выброса левого желудочка была связана с большей величиной соотношения  $f_{II}$  и меньшим временем восстановления ЧСС. *Заключение.* Частотный состав ЧСС при проведении Т6МХ может служить маркером приверженности терапии  $\beta$ -блокаторами, а также косвенно характеризовать сократительную способность и размеры полостей сердца при ХСН при отсутствии приема  $\beta$ -блокаторов.

**Ключевые слова:** тест с шестиминутной ходьбой, хроническая сердечная недостаточность, частота сердечных сокращений, непрерывное вейвлетное преобразование,  $\beta$ -блокатор

**For citation:** Akimova NS, Bogdanova TM, Torbin SO, Semenova VA, Zhuravlev MO. Dynamic characteristics of heart rate during a functional six-minute walk test in patients with chronic heart failure. *Saratov Journal of Medical Scientific Research*. 2025; 21 (4): 423–429. (In Russ.) EDN: FHMIP1. <https://doi.org/10.15275/ssmj2104423>.

**Abstract.** *Objective:* to conduct a comparative analysis of the spectral indices of heart rate (HR) during the six-minute walk test (6MWT), depending on  $\beta$ -blocker intake, and to identify parameters capable of characterizing the contractile function and chamber sizes of the heart in chronic heart failure (CHF). *Materials and methods.* The study included patients with compensated CHF of ischemic or hypertensive origin: patients taking  $\beta$ -blockers (main group) and patients who had not taken  $\beta$ -blockers for more than 1 month prior to the 6MWT (comparison group). All participants underwent Doppler echocardiography and the 6MWT. At each stage of the 6MWT, spectral indices of HR were assessed in the frequency band [0; 1] Hz. The following were evaluated: the ratio of the most prominent frequencies in the spectrum for stages II and I ( $f_{II}$ ), stages II and IV ( $f_{IIIV}$ ) of the 6MWT, and the average HR recovery time. *Results.* In the main group of patients, no significant correlations were found between the ratios of the HR frequency composition, Doppler echocardiography parameters, and the functional class (FC) of CHF. In the comparison group, a higher left ventricular ejection fraction was associated with a greater  $f_{II}$  ratio and a shorter HR recovery time. *Conclusion.* The frequency composition of HR during the 6MWT can serve as a marker of adherence to  $\beta$ -blocker therapy and can also indirectly characterize the contractile function and heart chamber sizes in CHF in the absence of  $\beta$ -blocker intake.

**Keywords:** six-minute walk test, chronic heart failure, heart rate, continuous wavelet transformation,  $\beta$ -blocker

**Введение.** Тест с шестиминутной ходьбой (Т6МХ) является значимым диагностическим методом определения функциональных способностей пациентов различного профиля [1]. Результаты Т6МХ как в клиническом, так и в прогностическом, отношении, высоко коррелируют с показателями «золотого стандарта» определения функционального резерва больных, прежде всего с кардиологической и респираторной патологией – кардиореспираторного нагрузочного тестирования [2].

Помимо хорошо известного и широко используемого алгоритма определения функционального класса (ФК) ХСН по Нью-Йоркской классификации на основании пройденной в ходе Т6МХ дистанции, при выполнении данного теста возможно также исследование адаптационных возможностей пациентов кардиологического профиля, что позволяет не только уточнить прогноз, но также, при необходимости, и оптимизировать терапию пациентов [3]. За последние 15 лет многочисленные клинические исследования высоко оценили надежность, специфичность и прогностическую ценность Т6МХ [2]. Уникальным преимуществом является то, что для проведения Т6МХ не требуется специального оборудования. Для Т6МХ нужны только 30-метровая ровная твердая пешеходная дорожка, размеченная через каждые 3 м, секундомер, счетчик кругов и 2 отметки точек поворота. Дополнительно к стандартной методике, до теста и после такового, могут также определяться частота сердечных сокращений (ЧСС), артериальное давление и сатурация кислорода [1]. Ценную в прогностическом отношении информацию может также дать выполнение двойного Т6МХ, то есть проведение его дважды, с 20–30-минутным перерывом. При этом вычисляются такие параметры, как, в частности, индекс адаптации пациента, показатели его сердечной функции и некоторые др. [3]. Стоит отметить, что практически во всех формулах определения подобных расчетных показателей компенсаторного резерва пациента с ХСН используются величины, связанные с ЧСС (скорость восстановления ЧСС и пр.), в связи с этим вопрос использования этих показателей на фоне приема пациентами  $\beta$ -блокаторов остается открытым. Вместе с тем рутинное использование Т6МХ сопряжено с существенными организационными трудностями. Необходимость непосредственного участия обученного медицинского персонала для контроля за соблюдением стандартизированного протокола и обеспечения безопасности пациента превращает тест из простого в достаточно времязатратный и ресурсоемкий метод, что создает барьеры для его повсеместного применения в реальной клинической практике [2].

В свете этих ограничений актуальной задачей современной кардиологии становится разработка решений для автоматизации Т6МХ. Развитие технологий дистанционного мониторинга, миниатюризация медицинских сенсоров и новые методы анализа биофизических сигналов открывают новые перспективы для преобразования этого теста. Интеграция данных

с носимых устройств, таких как одноканальные электрокардиографы (ЭКГ), акселерометры и датчики фотоплетизмографии (ФПГ), позволяет выйти за рамки простого измерения пройденной дистанции. Комплексный анализ вариабельности сердечного ритма, параметров реполяризации миокарда и характеристик походки в режиме реального времени способен значительно повысить информативность Т6МХ [4, 5]. Возможность внедрения технологий удаленного мониторинга ЭКГ и параметров ходьбы [6, 7] может значительно снизить нагрузку на медицинский персонал при проведении данного теста.

**Цель** – провести сравнительный анализ спектральных показателей ЧСС при выполнении Т6МХ в зависимости от приема  $\beta$ -блокаторов и выделить параметры, способные характеризовать сократительную способность и размеры полостей сердца при ХСН.

**Материал и методы.** Исследование проведено в соответствии с принципами Хельсинкской декларации и получило одобрение этического комитета ФГБОУ ВО «Саратовский государственный медицинский университет им. В.И. Разумовского» Минздрава России (протокол №09 от 02.04.2024). Информированное согласие получено от всех участников исследования.

Всего в основную группу включены 46 человек с компенсированной ХСН II–III ФК, возникшей на фоне имеющихся ишемической болезни сердца и/или гипертонической болезни. Возраст обследованных составил от 42 до 65 лет. Все пациенты основной группы получали базисную терапию по поводу ХСН (включая  $\beta$ -блокаторы), а также ишемической болезни сердца и/или гипертонической болезни, в соответствии с актуальными клиническими рекомендациями [8].

Критериями исключения служили: ограничение проходимой при выполнении Т6МХ дистанции (вследствие значимых заболеваний опорно-двигательного аппарата); острый инфаркт миокарда, хирургическое сердечно-сосудистое или чрескожное коронарное вмешательство в течение 3 мес до включения; нестабильная стенокардия давностью до 1 мес; регистрация перед проведением пробы следующих значений показателей: ЧСС выше 120 в 1 минуту в покое, систолическое АД > 180 мм рт. ст. и диастолическое АД > 100 мм рт. ст.; любое патологическое состояние, которая может помешать принимать участие в исследовании (например, слепота, глухота и проблемы с речью или другое); угрожающие жизни или неконтролируемые нарушения ритма, в том числе сопровождающиеся клиническими проявлениями, или устойчивая желудочковая тахикардия или фибрилляция или трепетание предсердий; прием препаратов, помимо  $\beta$ -блокаторов, способных повлиять на ЧСС, наличие в настоящее время или в анамнезе злокачественного новообразования любой системы органов (кроме локализованного базально-клеточного рака кожи); любое другое заболевание/состояние пациента, которое, по мнению исследователя, может подвергнуть больного более высокому риску для его здоровья в связи с участием в исследовании, или может помешать пациенту соблюдать требования исследования или завершить исследование.

**Ответственный автор** – Максим Олегович Журавлев  
**Corresponding author** – Maxim O. Zhuravlev  
E-mail: zhuravlevmo@gmail.com

Таблица 1

## Основные клинические характеристики в группах обследованных

Показатель	Основная группа (n=46)	Группа сравнения (n=28)	Значимость отличий, p
Возраст, лет, Me (Q <sub>25</sub> , Q <sub>75</sub> )	60 (56,0;64,0)	60 (55,0;65,0)	0,975
Мужской пол, n (%)	30 (65,22)	18 (64,29)	—
Женский пол, n (%)	16 (34,78)	10 (35,71)	—
Рост, см, Me (Q <sub>25</sub> , Q <sub>75</sub> )	166,8±7,7	167,1±6,6	0,885
Масса тела, кг, Me (Q <sub>25</sub> , Q <sub>75</sub> )	86,2 (74,3;94,2)	82,7 (70,2;90,3)	0,921
Индекс массы тела (ИМТ), кг/м <sup>2</sup> , Me (Q <sub>25</sub> , Q <sub>75</sub> )	32,07 (25,64;35,14)	29,13 (28,12;30,22)	0,806
ФК ХСН, n (%): II класс	16 (34,7)	12 (42,9)	0,309
III класс	30 (55,3)	16 (57,1)	
Параметры ДЭХО-КГ:			
КДР ЛЖ, см, Me (Q <sub>25</sub> , Q <sub>75</sub> )	5,08 (4,7;5,2)	5,2 (4,8;5,3)	0,578
КСР ЛЖ, см, Me (Q <sub>25</sub> , Q <sub>75</sub> )	3,22 (2,9;3,6)	3,13 (3,1;3,6)	0,888
КСР ЛП, см, Me (Q <sub>25</sub> , Q <sub>75</sub> )	3,7 (3,5;4,1)	3,7 (3,6;4,1)	0,527
ФВ ЛЖ, %, Me (Q <sub>25</sub> , Q <sub>75</sub> )	64,0 (58,0;66,0)	61,0 (59,0;67,0)	0,737
ИММЛЖ, г/м <sup>2</sup> , Me (Q <sub>25</sub> , Q <sub>75</sub> )	108,0 (99,0;128,0)	105,0 (94,0;150,0)	0,283
СДЛА, мм рт. ст., Me (Q <sub>25</sub> , Q <sub>75</sub> )	28,0 (25,0;36,0)	27,0 (24,0;27,0)	0,052
TAPSE, см, Me (Q <sub>25</sub> , Q <sub>75</sub> )	2,12 (2,0;2,22)	2,1 (2,0;2,2)	0,599

Группу сравнения составили 28 человек в возрасте от 41 до 65 лет, не принимающие в момент выполнения Т6МХ и в течение как минимум 1 мес до его проведения β-блокаторы. Как правило, пациенты самостоятельно прекращали прием β-блокаторов, что выявлялось при плановой консультации в рамках наблюдения. После выполнения Т6МХ пациентам рекомендовали возобновление приема β-блокаторов. Остальные критерии включения и исключения для группы сравнения были те же, что и для пациентов основной группы. Клинические характеристики обследованных представлены в табл. 1.

Как показано в табл. 1, по основным характеристикам клинического статуса группы обследованных были однородны и сопоставимы между собой.

После подписания информированного согласия и стандартного клинического обследования всем участникам исследования выполнялись доплерэхокардиография (ДЭХО-КГ) и Т6МХ. При выполнении ДЭХО-КГ проводилась оценка таких параметров как конечно-диастолический размер левого желудочка (КДР ЛЖ), конечно-систолический размер левого желудочка (КСР ЛЖ), конечно-систолический размер левого предсердия (КСР ЛП), фракция выброса левого желудочка (ФВ ЛЖ), индекс массы миокарда левого желудочка (ИММЛЖ), среднее давление в лёгочной артерии (СДЛА), также определялся показатель TAPSE (Tricuspid Annular Plane Systolic Excursion). Проведение Т6МХ соответствовало стандартным клиническим рекомендациям [1, 3]. При проведении Т6МХ посредством сертифицированного оборудования для кардиореспираторного мониторинга (ООО НПКФ «Медиком МТД») непрерывно регистрировались записи электрокардиограммы (ЭКГ) и ФПГ, включающие в себя периоды записей до и после ходьбы, около 3 и 4–5 мин, соответственно. Отдельно в виде цифровых значений представлялась частота

пульса, сатурация и оценка одышки пациентов на основе шкалы Борга до и после Т6МХ [1].

По записям ФПГ сигналов непрерывным образом рассчитывалась ЧСС согласно методу, представленному в исследовании [9]. Использование данного метода, использующего метод колебательных паттернов непрерывного вейвлетного преобразования (НВП), позволило оценить изменения ЧСС в периоды интенсивной ходьбы пациентов, а не только в состоянии относительного покоя, соответствующего отдыху до и после Т6МХ.

Для каждого пациента вся длительность записи ЧСС была разделена на 4 последовательные стадии: стадия I – покой до Т6МХ, стадия II – шестиминутная ходьба, стадия III – состояние непосредственно после завершения Т6МХ, то есть период резкого снижения величины ЧСС до среднего значения в стадии I, стадия IV – покой после завершения стабилизации ЧСС. Наглядно данная схема показана на верхних панелях рис. 1–3.

Статистический анализ полученных данных проводился в программе Statistica 10.0. Количественные показатели представлены в виде медианы и межквартильного размаха. Для качественных параметров указаны доли в процентах от общего числа наблюдений в группе. Достоверность отличий между различными группами оценивалась с использованием критерия Манна – Уитни, при  $p < 0,05$  отличия считались статистически значимыми. Для нахождения факторов связи между показателями использовался коэффициент корреляции Пирсона. В статье приводятся только статистически значимые коэффициенты корреляции.

Для уточнения оценки сердечного ритма каждого пациента на основе НВП был выполнен анализ динамики вариабельности частотного состава сердечного ритма, что позволяет наглядно видеть

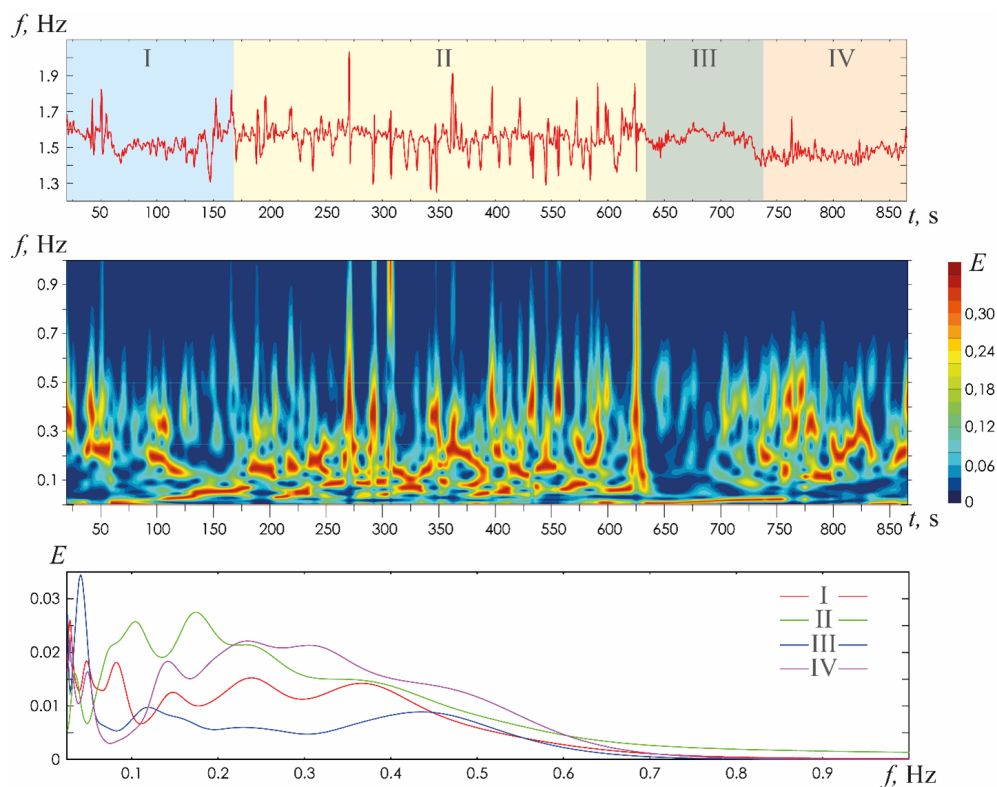


Рис. 1. (а) Изменение ЧСС одного из пациентов из основной группы, зарегистрированное при выполнении Т6МХ, цветом показаны I–IV стадии выполнения теста; (б) энергетические поверхности НВП, где амплитуда энергии определенной частоты колебаний в каждый момент времени кодирована с помощью цветовой шкалы, показанной справа от рисунка; (в) нормированная энергия НВП в диапазоне [0; 1] Гц, аналог классического Фурье–спектра, рассчитанная для I–IV стадий выполнения теста

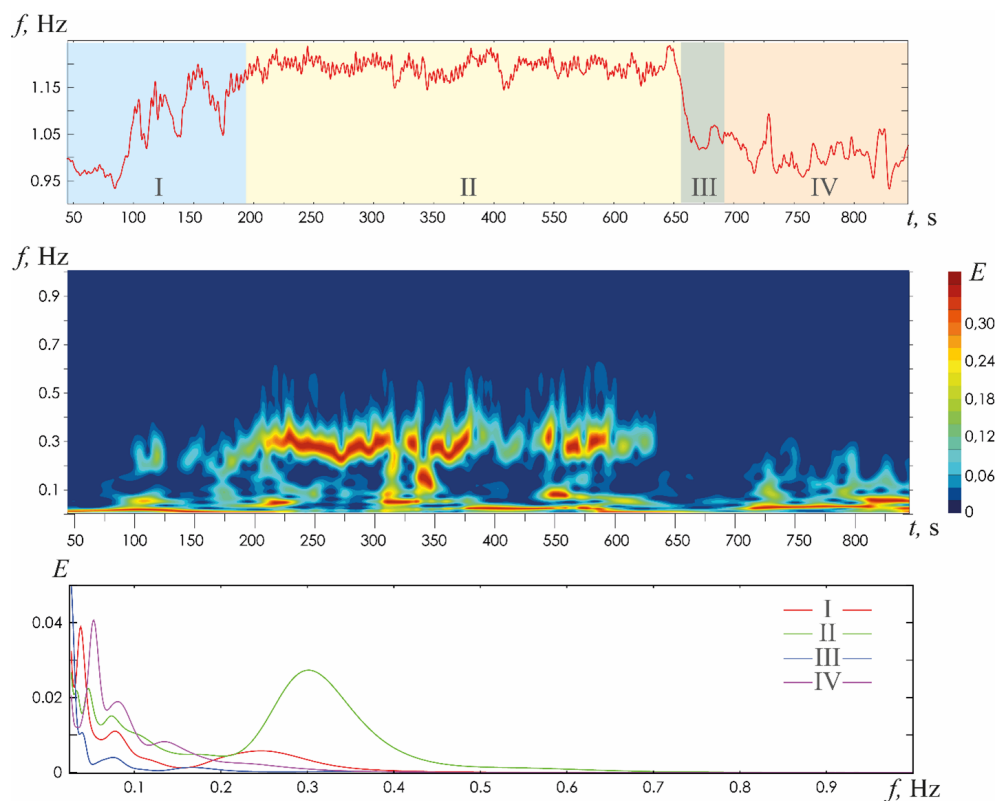


Рис. 2. (а) Варибельность сердечного ритма одного из пациентов из группы сравнения, зарегистрированное при выполнении Т6МХ, цветом показаны I–IV стадии выполнения теста; (б) энергетические поверхности НВП, где амплитуда энергии определенной частоты колебаний в каждый момент времени кодирована с помощью цветовой шкалы, показанной справа от рисунка; (в) нормированная энергия НВП в диапазоне [0; 1] Гц, аналог классического Фурье–спектра, рассчитанная для I–IV стадий выполнения теста

Таблица 2

## Статистические данные о выполнении Т6МХ в группах обследованных

Показатель	Группа		Значимость отличий, <i>p</i>
	основная ( <i>n</i> =46)	сравнения ( <i>n</i> =28)	
Параметры Т6МХ			
Пройденная дистанция, м, <i>Me</i> ( $Q_{25}; Q_{75}$ )	362,0 (310,0;440,0)	394,0 (375,0;451,0)	0,328
ВВ ЧСС, Т6МХ, сек, <i>Me</i> ( $Q_{25}; Q_{75}$ )	94,0 (41,0;197,0)	62,5 (45,0;68,0)	0,403
Параметры частотных характеристик ЧСС ЭКГ			
$f_{III}$ , <i>Me</i> ( $Q_{25}; Q_{75}$ )	110,0 (98,7; 150,2)	20,0 (15,0;35,9)	0,005
$f_{IIIIV}$ , <i>Me</i> ( $Q_{25}; Q_{75}$ )	75,2 (51,0; 91,0)	15,4 (10,2; 35,8)	0,007

колебательную структуру сердечного ритма для каждого момента времени, как это показано, например, на рис. 1, б. В каждой стадии выполнения Т6МХ для сердечного ритма пациента производилась оценка распределения энергии НВП в частотном диапазоне [0; 1] Гц. Рассчитывались соотношения частот, максимально выраженных в спектре, для стадий II и I ( $f_{III}$ ), II и IV ( $f_{IIIIV}$ ).

**Результаты.** В табл. 2 представлены статистические данные прохождения Т6МХ для различных групп пациентов. Результаты выполненного численного анализа динамики ЧСС при выполнении Т6МХ демонстрирует различия спектральных составляющих ЧСС для основной группы и группы сравнения,  $p < 0,05$ . Визуально типичные характеристики ЧСС демонстрируются на рис. 1 (основная группа) и рис. 2 (группа сравнения). Среднее время восстановления ЧСС в основной группе было больше, чем в группе сравнения после Т6МХ.

Посредством парного корреляционного анализа установлено, что в группе сравнения время восстановления ЧСС и  $f_{III}$  были значимо ассоциированы с фракцией выброса левого желудочка и ФК ХСН. Так, установлено, что более высокая ФВ ЛЖ связана с большей величиной соотношения  $f_{III}$  и меньшим ВВ ЧСС ( $R = 0,62$  и  $R = -0,42$ , соответственно); а ФК ХСН обратно связана с соотношением  $f_{IIIIV}$  ( $R = -0,27$ ). Кроме того, у пациентов группы сравнения выявлены достоверные обратные связи соотношения  $f_{III}$  с КСР ЛЖ, КДР ЛЖ, КСР ЛП, ИММ ЛЖ ( $R = -0,41$ ;  $R = -0,33$ ;  $R = -0,31$ ;  $R = -0,39$ , соответственно) и прямые – с ТАРСЕ ( $R = 0,31$ ). Более длительное ВВ ЧСС достоверно связано с КДР ЛЖ, КСР ЛЖ, КСР ЛП и ИММ ЛЖ ( $R = 0,68$ ;  $R = 0,49$ ;  $R = 0,51$ ;  $R = 0,46$ ). Полученные результаты подтверждают более низкий компенсаторный резерв у пациентов с большей степенью выраженности ХСН.

Что касается пациентов основной группы, на фоне приема  $\beta$ -блокаторов не было установлено достоверных связей между индексами соотношений частотного состава ЧСС и временем восстановления ЧСС с показателями ДЭХОКГ и ФК ХСН. Таким образом, оценка компенсаторного резерва на основе различных соотношений ЧСС при проведении Т6МХ на фоне приема препаратов, влияющих на ЧСС, не демонстрирует значимых прогностических возможностей.

**Обсуждение.** В последнее время значительно возросло количество исследований, использующих в качестве метода оценки состояния пациента Т6МХ с одновременной регистрацией параметров гемодинамики, ЭКГ, ФПГ, оксигенации крови и др. посредством именно носимых цифровых устройств.

Сегодня фотоплетизмография является одним из основных инструментов инженерного выбора для применения в рамках разработки носимых медицинских устройств, поскольку стоимость датчиков данного типа, удобство их расположения, качество сигнала и его помехоустойчивость представляют собой оптимальное соотношение. Современные методы численной обработки регистрируемых цифровых показателей позволяют оценивать по ФПГ целый комплекс характеристик активности кардиоваскулярной системы (сердечный ритм и его вариабельность, ЧСС, характеристики пульсовой волны, механизмов сосудистого тонуса и эластичности сосудов, дыхательные вариации и пр) [9, 10].

Экспрессия спектральных показателей сердечного ритма, а также соотношения частотных компонентов, зависит от множества факторов, включая автономную регуляцию сердца, степень ишемии, а также фармакологическое влияние препаратов. В нашем исследовании было отмечено, что у пациентов, принимающих  $\beta$ -блокаторы, в отличие от пациентов основной группы, не обнаружено корреляций между спектральными параметрами и стандартными эхокардиографическими показателями, что, видимо, обусловлено фармакологической блокадой симпатической нервной системы. Также важно учитывать, что вариабельность сердечного ритма и его спектрология могут быть чувствительны к внешним стрессорам, эмоциональному состоянию пациента, а также к параметрам дыхания и другим физиологическим ритмам. Результаты проведенного исследования обосновывают необходимость разработки стандартизированных методик их учета при интерпретации спектральных данных в разрабатываемых носимых медицинских устройствах.

Установленные в исследовании взаимосвязи между спектральными компонентами и характеристиками ЛЖ свидетельствуют о потенциальной возможности использования спектральных анализов для оценки резервных возможностей сердечно-сосудистой системы у пациентов с ХСН, что позволит уточнить риск декомпенсации сердечной недостаточности и эффективность получаемой медикаментозной терапии. Сегодня вариабельность сердечного ритма (ВСР) является наиболее изученным явлением, уже применяемым как в исследованиях, так и в клинической практике [11]. Классический анализ ВСР основан на определении серии RR (времени, прошедшего между двумя последовательными зубцами R на ЭКГ). В представленной работе мы пользуемся вейвлет – подходом для выделения ВСР на основе непрерывной оценки сердечного ритма [9]. Частотные составляющие ВСР характеризуют различные процессы сердечной регуляции (в основном,

хронотропный контроль сердца). В частности, высокочастотные (0,15–0,4 Гц) колебания обусловлены активностью блуждающего нерва и влиянием дыхания на сердечный ритм [11]. В то же время, мнения учёных о природе различных частотных компонентов ВСП неоднозначны, поэтому дискуссия продолжается [12]. В нашей работе мы рассматриваем частотный состав ВСП с позиций независимой оценки частотных составляющих (максимальных величин спектрального состава), без привязки к тем или иным конкретным колебательным процессам. Подобная оценка показателей, основанная лишь на объективной количественной оценке этих компонентов, может представлять определенный потенциал для клинической практики [11, 12].

Несмотря на значимость полученных результатов, исследование имеет ряд ограничений. Во-первых, небольшая выборка участников ограничивает возможности распространения полученных данных на всю популяцию пациентов с ХСН. Во-вторых, использование фармакологических препаратов, таких, как β-блокаторы, влияет на показатели вариабельности сердца, весьма усложняя интерпретацию спектральных данных и ограничивая использование изучаемой методики в реальной клинической практике. Также важным является ограничение по времени наблюдения — возможно влияние циркадных ритмов и хроно-типов на реальную динамику гемодинамических и автономных процессов в течение суток. В дальнейшем необходимо расширить численность выборки и проводить многодневные мониторинги для получения более достоверных данных о вариабельности ритма пациентов с учетом указанных факторов. Тем не менее результаты проведенного пилотного исследования подчеркивают значимость оценки получаемой терапии пациентами кардиологического профиля при проведении нагрузочных диагностических тестов.

Перспективным дальнейшим направлением выполняемой работы представляется также интеграция расширенного спектрального анализа биофизических сигналов кардиоваскулярной системы, описанных в работе [13], для расширения возможностей оценок кардиореспираторных взаимодействий. Ожидается, что разработка подобных алгоритмов автоматического определения паттернов ЧСС и вариабельности сердечного ритма с учетом индивидуальных особенностей пациентов позволит значительно повысить качество диагностики и мониторинга пациентов, страдающих ХСН.

**Заключение.** Оценка частотного состава ЧСС при проведении Т6МХ может служить маркером приверженности терапии β-блокаторами, а также косвенно характеризовать сократительную способность и размеры полостей сердца при ХСН при отсутствии приема β-блокаторов.

**Финансирование.** Работа выполнена в рамках государственного задания Минздрава России «Разработка портативного программно-аппаратного комплекса для дистанционного мониторинга функции сердечно-сосудистой системы, а также автоматизации теста с 6-минутной ходьбой у пациентов с хроническими неинфекционными заболеваниями» № 056-03-2024-071 от 24.01.2024.

**Соответствие принципам этики.** Протокол исследования одобрен локальным этическим комитетом. Одобрение и процедуру проведения протокола получали по принципам Хельсинкской декларации.

**Вклад авторов:** Акимова Н.С. – разработка дизайна исследования, проверка критически важного содержания, Коньшина Л.Е. – сбор клинического ма-

териала, написание текста рукописи, Богданова Т.М. – написание текста рукописи, обзор и редактирование, Торбин С.О. – статистическая обработка данных, написание текста рукописи, Семенова В.А. – написание текста рукописи, Журавлев М.О. – статистическая обработка данных и программное обеспечение, подготовка иллюстраций.

**Информированное согласие на публикацию.** Пациенты подписали форму добровольного информированного согласия на публикацию медицинской информации.

**Конфликт интересов.** Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

## References (Список источников)

- Morinder G, Mattsson E, Sollander C, et al. Six-minute walk test in obese children and adolescents: reproducibility and validity. *Physiother Res Int.* 2009;14(2):91-104. DOI:10.1002/pri.428
- Zielińska D, Bellwon J, Rynkiewicz A, Elkady MA. Prognostic value of the six-minute walk test in heart failure patients undergoing cardiac surgery: A literature review. *Rehabil Res Pract.* 2013;2013:965494. DOI:10.1155/2013/965494
- Begrambekova YL, Arutyunov GP, Glezer MG, et al. Evaluation of the functional reserve and exercise tolerance in patients with CHF in Clinical Trials (Consent Document of the Editorial board of the Journal of Cardiology, the Board of the Society of Specialists in Heart Failure (SSHF) and Working Group “Non-drug treatment methods” of SSHF). *Kardiologia.* 2024;64(7):4-26. (In Russ.) Беграмбекова Ю.Л., Арутюнов Г.П., Глезер М.Г. и др. Методология оценки функционального резерва и переносимости физической нагрузки при проведении клинических исследований у пациентов с ХСН (согласительный документ редколлегии журнала «Кардиология», Правления ОСЧН и Рабочей группы ОСЧН «Немедикаментозные методы лечения»). *Кардиология.* 2024;64(7):4-26. DOI:10.18087/cardio.2024.7.n2637
- Lin BS, Jhang RJ, Lin BS. Wearable cardiopulmonary function evaluation system for Six-Minute Walking Test. *Sensors (Basel).* 2019;19(21):4656. DOI:10.3390/s19214656
- Jehn M, Schmidt-Trucksäss A, Schuster T, et al. Accelerometer-based quantification of 6-minute walk test performance in patients with chronic heart failure: Applicability in telemedicine. *J Card Fail.* 2009;15:334-40. DOI:10.1016/j.cardfail.2008.11.011
- Worringham C, Rojek A, Stewart I. Development and feasibility of a smartphone, ECG and GPS based system for remotely monitoring exercise in cardiac rehabilitation. *PLoS One.* 2011;6(2):e14669. DOI:10.1371/journal.pone.0014669
- Creber RMM, Hickey KT, Maurer MS. Gerontechnologies for older patients with heart failure: What is the role of smartphones, tablets, and remote monitoring devices in improving symptom monitoring and self-care management. *Curr Cardiovasc Risk Rep.* 2016;10(10):30. DOI:10.1007/s12170-016-0511-8
- Tereshchenko SN, Zhurov IV, Uskach TM, et al. Eurasian Association of Cardiology (EAC) / National Society of Heart Failure And Myocardial Disease (NSHFMD) guidelines for the diagnosis and treatment of chronic heart failure (2024). *Eurasian Heart Journal.* 2024;(2):6-76. (In Russ.) Терещенко С.Н., Жиров И.В., Ускач Т.М. и др. Клинические рекомендации Евразийской ассоциации кардиологов (ЕАК) / Национального общества по изучению сердечной недостаточности и заболеваний миокарда (НОИСН) по диагностике и лечению хронической сердечной недостаточности (2024). *Евразийский кардиологический журнал.* 2024;(2):6-76. DOI:10.38109/2225-1685-2024-2-6-76
- Zhuravlev MO, Runnova AE, Mironov SA, et al. continuous estimation of heart rate variability from electrocardiogram and photoplethysmogram signals with oscillatory wavelet pattern method. *Sensors.* 2025;25(17):5455. DOI:10.3390/s25175455
- Kim KB, Baek HJ. Photoplethysmography in wearable devices: A comprehensive review of technological advances, current challenges, and future directions. *Electronics.* 2023;12(13):2923. DOI:10.3390/electronics12132923
- Malik M, Bigger TJ, et al. Heart rate variability. Standards of measurement, physiological interpretation, and clinical use. Task Force of the European Society of Cardiology and the North American Society of Pacing and Electrophysiology. *Eur Heart J.* 1996;17:354-81. DOI:10.1093/oxfordjournals.eurheartj.a014868

12. Kiselev AR, Zhuravlev MO, Runnova AO. Assessment of frequency components of ECG waveform variability: Are there prospects for research into cardiac regulation processes. *Russ Open Med J.* 2024;13:e0412. DOI:10.15275/rusomj.2024.0412

13. Simonyan M, Fisun A, Afanaseva G, et al. Oscillatory wavelet-patterns in complex data: Mutual estimation of frequencies and energy dynamics. *The European Physical Journal Special Topics.* 2023;232(5):595-603. DOI:10.1140/epjs/s11734-022-00737-

Статья поступила в редакцию 17.10.2025; одобрена после рецензирования 19.11.2025; принята к публикации 20.11.2025. The article was submitted 17.10.2025; approved after reviewing 19.11.2025; accepted for publication 20.11.2025.

#### Информация об авторах:

**Наталья Сергеевна Акимова** – профессор кафедры факультетской терапии, доцент, доктор медицинских наук, natalieakimowa@yandex.ru, ORCID 0000-0002-5935-2655; **Лариса Евгеньевна Коньшина** – доцент кафедры факультетской терапии, кандидат медицинских наук, lagunina@yandex.ru, ORCID 0000-0003-3992-8992; **Татьяна Михайловна Богданова** – заведующая кафедрой пропедевтики внутренних болезней, доцент, кандидат медицинских наук, bogdanmih@mail.ru, ORCID 0000-0002-9203-451X; **Станислав Олегович Торбин** – старший преподаватель кафедры биофизики и цифровых технологий, ya@storbin.ru, ORCID 0000-0003-2645-306X; **Валерия Александровна Семенова** – ассистент кафедры пропедевтики внутренних болезней, semenovasgm@mail.ru, ORCID 0000-0003-2262-3252; **Максим Олегович Журавлев** – старший научный сотрудник Научно-исследовательского института биоцифровых систем здоровья, кандидат физико-математических наук, zhuravlevmo@gmail.com, ORCID 0000-0002-8620-1609.

#### Information about the authors:

**Natalia S. Akimova** – Professor of the Department of Faculty Therapy, Associate Professor, DSc, natalieakimowa@yandex.ru, ORCID 0000-0002-5935-2655; **Larisa E. Konshina** – Assistant Professor of the Department of Faculty Therapy, PhD, lagunina@yandex.ru, ORCID 0000-0003-3992-8992; **Tatyana M. Bogdanova** – Head of the Department of Propaedeutics of Internal Diseases, Associate Professor, PhD, bogdanmih@mail.ru, ORCID 0000-0002-9203-451X; **Stanislav O. Torbin** – Senior Lecturer of the Department of Biophysics and Digital Technologies, ya@storbin.ru, ORCID 0000-0003-2645-306X; **Valeria A. Semenova** – Instructor of the Department of Propaedeutics of Internal Diseases, semenovasgm@mail.ru, ORCID 0000-0003-2262-3252; **Maxim O. Zhuravlev** – Senior Researcher of the Research Institute of Biodigital Health Systems, PhD, zhuravlevmo@gmail.com, ORCID 0000-0002-8620-1609.

УДК 61:614.253.8:616.127-005.8

Оригинальная статья

EDN: FHMIP1

<https://doi.org/10.15275/ssmj2104429>

## СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ПРЕДСКАЗАТЕЛЬНОЙ ЦЕННОСТИ ШКАЛ КРАТКОСРОЧНОГО РИСКА У ПАЦИЕНТОВ С ОСТРЫМ КОРОНАРНЫМ СИНДРОМОМ БЕЗ ПОДЪЕМА СЕГМЕНТА ST

**М. Альнасер<sup>1</sup>, И.В. Сычев<sup>2</sup>, Я.А. Пушкина<sup>1</sup>, В.С. Мармулева<sup>3</sup>, Л.Н. Гончарова<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Мордовский государственный университет им. Н.П. Огарёва», Саранск, Россия

<sup>2</sup>ФГБНУ «Российский научный центр хирургии им. акад. Б.В. Петровского», Москва, Россия

<sup>3</sup>ФГБОУ ВО «Ивановский государственный медицинский университет» Минздрава России, Иваново, Россия

## COMPARATIVE ANALYSIS OF THE PREDICTIVE VALUE OF SHORT-TERM RISK SCALES IN PATIENTS WITH NON-ST-ELEVATION ACUTE CORONARY SYNDROME

**M. Alnaser<sup>1</sup>, I.V. Sychev<sup>2</sup>, Ya.A. Pushkina<sup>1</sup>, V.S. Marmuleva<sup>3</sup>, L.N. Goncharova<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>National Research Ogarev Mordovia State University, Saransk, Russia

<sup>2</sup>Petrovsky National Research Center of Surgery, Moscow, Russia

<sup>3</sup>Ivanovo State Medical University, Ivanovo, Russia

**Для цитирования:** Альнасер М., Сычев И.В., Мармулева В.С., Пушкина Я.А., Гончарова Л.Н. Сравнительный анализ предсказательной ценности шкал краткосрочного риска у пациентов с острым коронарным синдромом без подъема сегмента ST. *Саратовский научно-медицинский журнал.* 2025; 21 (4): 429–433. EDN: FHMIP1. <https://doi.org/10.15275/ssmj2104429>.

**Аннотация.** Цель: оценить прогностическую значимость, чувствительность и специфичность краткосрочных шкал риска NCDR CathPCI, CADILLAC, ACEF, EuroSCORE II, SYNTAX у больных с острым коронарным синдромом без подъема сегмента ST, которым проводили чрескожное коронарное вмешательство. *Материал и методы.* В исследовании вошли 363 пациента с диагнозом «Острый коронарный синдром без подъема сегмента ST» (ОКСбпST), которым проведены первичное чрескожное коронарное вмешательство во время госпитализации и анкетирование по критериям краткосрочных шкал для определения прогноза развития ранних фатальных осложнений. *Результаты.* К группе высокого риска были отнесены пациенты соответственно по шкалам: 28,4% – по ACEF, 14,6% – по SYNTAX, 13,8% – по CADILLAC, 9,9% – по EuroSCORE II и только 4,1% – по NCDR-CathPCI. Шкалы CADILLAC (чувствительность: Se=1,000, специфичность: Sp=0,907,  $\chi^2=118,56$ ;  $p<0,001$ ) и SYNTAX (Se=1,000, Sp=0,899,  $\chi^2=110,78$ ;  $p<0,001$ ) показали максимальную чувствительность и высокую специфичность. Шкала ACEF показала стопроцентную чувствительность (Se=1,000), но специфичность составила 0,754 ( $\chi^2=47,81$ ;  $p<0,001$ ). Системы оценки EuroSCORE II и NCDR-CathPCI показали низкую чувствительность (Se=0,444 для обеих шкал), но высокую специфичность (EuroSCORE II: Sp=0,919,  $\chi^2=25,27$ ;  $p<0,001$ , отношение шансов: OR=9,06; NCDR-CathPCI: Sp=0,980,  $\chi^2=77,69$ ;  $p<0,001$ , OR=38,63). *Заключение.* Наиболее прогностически значимые шкалы, определяющие высокий прогноз развития ранних фатальных осложнений у больных с ОКСбпST, в данном исследовании оказались CADILLAC и SYNTAX.