

Сахнова Т. А., Добровольская С. В., Блинова Е. В., Ускач Т. М., Саидова М. А.

ФГБУ «НМИЦК имени ак. Е. И. Чазова» Минздрава РФ, Москва, Россия

СВЯЗЬ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО РЕМОДЕЛИРОВАНИЯ МИОКАРДА С ПАРАМЕТРАМИ СОКРАТИТЕЛЬНОЙ ФУНКЦИИ, ДЕФОРМАЦИИ И РАБОТЫ МИОКАРДА У БОЛЬНЫХ ХРОНИЧЕСКОЙ СЕРДЕЧНОЙ НЕДОСТАТОЧНОСТЬЮ С НИЗКОЙ ФРАКЦИЕЙ ВЫБРОСА ЛЕВОГО ЖЕЛУДОЧКА И ФИБРИЛЛЯЦИЕЙ ПРЕДСЕРДИЙ

Цель	Целью работы было сопоставить электрокардиографические показатели с характеристиками сократимости миокарда по данным эхокардиографии у больных хронической сердечной недостаточностью (ХСН) с низкой фракцией выброса левого желудочка (ФВ ЛЖ) и фибрилляцией предсердий (ФП).
Материал и методы	В исследование включены 66 пациентов с ХСН и ФВ ЛЖ $\leq 40\%$. На электрокардиограмме оценивались продолжительность комплекса QRS, фрагментация QRS, фронтальный угол QRS-T (fQRS-Ta) и трехмерные векторкардиографические показатели – планарность петли QRS, пространственный угол QRS-T (sQRS-Ta). При эхокардиографии оценивались ФВ ЛЖ, глобальная продольная деформация (GLS), индекс глобальной работы (GWI), глобальная конструктивная работа (GCW), глобальная утраченная работа (GWW), эффективность глобальной работы (GWE).
Результаты	Статистически значимых корреляционных связей электрокардиографических показателей с ФВ ЛЖ выявлено не было. Наличие фрагментации QRS было связано с ухудшением GLS, более высокими значениями GWW и более низкой GWE. Был выявлен ряд слабых, но достоверных корреляционных связей: GLS ухудшалась при увеличении продолжительности QRS, fQRS-Ta и sQRS-Ta и уменьшении индекса планарности QRS; GWW возрастала при увеличении продолжительности QRS; GWI, GCW и GWE уменьшались при снижении индекса планарности QRS. GWI уменьшался при увеличении sQRS-Ta; GCW уменьшалась при увеличении fQRS-Ta и sQRS-Ta; GWE уменьшалась при увеличении продолжительности QRS, fQRS-Ta и sQRS-Ta.
Заключение	Выявлена связь показателей электрического ремоделирования миокарда с параметрами сократительной функции, деформации и работы миокарда у больных ХСН с низкой ФВ ЛЖ и ФП. Дальнейшее изучение данных параметров может быть перспективным для оценки выраженности изменений структурно-функционального состояния миокарда у пациентов различной сердечно-сосудистой патологией.
Ключевые слова	Хроническая сердечная недостаточность; работа миокарда; фрагментация QRS; угол QRS-T
Для цитирования	Sakhnova T.A., Dobrovolskaya S.V., Blinova E.V., Uskach T.M., Saidova M.A. Relationship between parameters of myocardial electrical remodeling and parameters of contractile function, deformation and myocardium work in patients with chronic heart failure with low left ventricular ejection fraction and atrial fibrillation. <i>Kardiologiya</i> . 2023;63(6):14–20. [Russian: Сахнова Т.А., Добровольская С.В., Блинова Е.В., Ускач Т.М., Саидова М.А. Связь показателей электрического ремоделирования миокарда с параметрами сократительной функции, деформации и работы миокарда у больных хронической сердечной недостаточностью с низкой фракцией выброса левого желудочка и фибрилляцией предсердий. <i>Кардиология</i> . 2023;63(6):14–20].
Автор для переписки	Сахнова Тамара Анатольевна. E-mail: tamara-sahnova@mail.ru

Введение

Хроническая сердечная недостаточность (ХСН) является серьезной проблемой здравоохранения. Важную роль как в диагностике ХСН, так и в оценке эффективности ее лечения играет эхокардиография (ЭхоКГ).

В настоящее время при проведении ЭхоКГ появилась возможность оценивать не только фракцию выброса левого желудочка (ФВ ЛЖ), но и более сложные показатели,

характеризующие сократительную функцию ЛЖ. К новым технологиям относится метод спекл-трекинг эхокардиографии (СТЭ).

Глобальная продольная деформация (GLS), оцениваемая по данным СТЭ, является чувствительным и воспроизводимым параметром, используемым для оценки сократительной функции ЛЖ как на фоне синусового ритма, так и при фибрилляции предсердий (ФП), и име-

ет высокую прогностическую значимость у пациентов с ХСН. Одним из ограничений методики является ее зависимость от постнагрузки.

Для преодоления этого ограничения разработан метод оценки эффективности работы миокарда ЛЖ, в основе которого лежит анализ GLS в сочетании с оценкой давления в полости ЛЖ (петля «деформация–давление» ЛЖ). При этом показатели деформации миокарда ЛЖ оцениваются с учетом уровня артериального давления, измеренного при помощи сфигмоманометра. Эта методика позволяет проводить подробный анализ сократительной функции ЛЖ у больных ХСН, в том числе на фоне различных видов лечения [1].

Электрокардиография, несмотря на широкую доступность и низкую стоимость, пока имеет ограниченное значение в диагностике ХСН. К основным изменениям электрокардиограммы (ЭКГ), которые позволяют заподозрить наличие систолической дисфункции левого желудочка [2], относят ФП.

В последние годы было продемонстрировано, что такие показатели ЭКГ, как фрагментация комплекса QRS, пространственный и фронтальный угол QRS-T имеют прогностическое значение у больных ХСН. Однако какие именно патогенетические механизмы лежат в основе их изменений, это остается не до конца ясным.

Целью нашей работы было сопоставить ЭКГ показатели с характеристиками сократимости миокарда по данным ЭхоКГ у больных ХСН с низкой ФВ ЛЖ и ФП.

Материал и методы

В исследование включены 66 пациентов ХСН с низкой ФВ ЛЖ ($\leq 40\%$) в сочетании с ФП, находившихся на лечении в НИИ КК им. А.А. Мясникова ФГБУ «НМИЦК имени ак. Е.И. Чазова» Минздрава России. Диагноз устанавливался в соответствии с рекомендациями на основе стандартного клинического обследования.

Все пациенты перед участием в исследовании подписывали информированное согласие, протокол исследования был одобрен локальным этическим комитетом.

В исследование не включались пациенты с острым инфарктом миокарда, а также больные с искусственным ритмом желудочков.

На момент обследования все пациенты получали оптимальную лекарственную терапию ХСН в соответствии с текущими рекомендациями [3] и находились в состоянии компенсации ХСН.

Электрокардиография

Цифровые ЭКГ в 12 отведениях регистрировались и обрабатывались с помощью компьютерного электрокардиографа с программным обеспечением Easy ECG (Атес Медика, Россия).

Продолжительность комплекса QRS (QRSd) определялась с учетом всех отведений.

Фрагментацией комплекса QRS (при QRSd < 120 мс) считали наличие одного или более дополнительного зубца R (R') или зубурины зубца S, а при QRSd ≥ 120 мс – наличие более чем двух зубцов R (R'') или больше двух зубуринов зубца S в двух смежных отведениях.

Фронтальный угол QRS-T (fQRS-Ta) вычислялся как абсолютное значение разницы между осью QRS и осью T. Когда эта цифра оказывалась больше 180° , ее вычитали из 360° .

Синтезированные векторкардиограммы (ВКГ) автоматически вычислялись при помощи специальных линейных преобразований.

Индекс планарности пространственной петли QRS (P/S) рассчитывался как соотношение площади проекции петли QRS на плоскость и истинной площади петли QRS в пространстве. Пространственный угол QRS-T (sQRS-Ta) определялся как пространственный угол между интегральными векторами QRS и T.

Эхокардиография

ЭхоКГ выполнялась на ультразвуковом аппарате экспертного уровня (Vivid E9, GE, Norway) с использованием матричного ультразвукового датчика M5Sc-D в положении пациента лежа на левом боку. Исследование сохранялось в цифровом формате для анализа в автономном режиме. Оценивались конечные диастолический (КДО) и систолический объемы (КСО) ЛЖ; ФВ ЛЖ определяли по методу Симпсона (biplane) в 4- и 2-камерном сечениях.

Для оценки показателей деформации ЛЖ в режиме СТЭ проводили запись цифровой кинопетли из апикальной позиции (на уровне камер 4, 2 и 3), из парастернальной позиции по длинной оси, также по короткой оси на уровне митрального клапана, папиллярных мышц и верхушки ЛЖ. Изображения анализировали на рабочей станции EchoPac PC (GE Healthcare, США) с использованием программы 2-D Strain. Протокол записи пациентов с ФП включал от 5 до 8 циклов со средними значениями интервала R-R, что позволило при постобработке использовать в анализе GLS циклы с примерно одинаковыми интервалами R-R.

При оценке миокардиальной работы определялись следующие показатели: индекс глобальной работы (global work index, GWI) – вся работа, совершаемая ЛЖ за период времени от закрытия до открытия митрального клапана; глобальная конструктивная работа (global constructive work, GCW) – работа, способствующая изгнанию крови во время систолы; глобальная утраченная работа (global wasted work, GWW) – работа, не способствующая изгнанию крови из полости ЛЖ; эффектив-

Таблица 1. Характеристика обследованной группы

Показатель		Значение
Мужской пол, n (%)		54 (82)
Возраст, годы		58 [53; 64]
Основная причина ХСН	ИБС, ПИКС, n (%)	28 (43)
	ДКМП, n (%)	22 (33)
	ГБ, n (%)	16 (24)
ФК ХСН (NYHA)	II, n (%)	31 (47)
	III, n (%)	35 (53)
ФП	Пароксизмальная, n (%)	38 (58)
	Постоянная, n (%)	28 (42)
ЧСС, уд. в минуту		70 [60; 84]

Данные представлены в виде медианы и интерквартильного размаха – Me [Q25; Q75], числа пациентов – n (%); ХСН – хроническая сердечная недостаточность, ИБС – ишемическая болезнь сердца, ПИКС – постинфарктный кардиосклероз, ДКМП – дилатационная кардиомиопатия, ГБ – гипертоническая болезнь, ФК – функциональный класс, NYHA – Нью-Йоркская Ассоциация сердца, ФП – фибрилляция предсердий, ЧСС – частота сердечных сокращений.

Таблица 2. Значения ЭхоКГ и ЭКГ показателей в изученной группе

Показатель	Значение	Норма (по данным литературы)
КДО ЛЖ, мл	206 [170; 240]	<150 (м), <106 (ж) [4]
иКДО ЛЖ, мл/м ²	98 [80; 119]	<74 (м), <61 (ж) [4]
КСО ЛЖ, мл	130 [105; 165]	<61 (м), <42 (ж) [4]
иКСО ЛЖ, мл/м ²	65 [50; 82]	<31 (м), <24 (ж) [4]
ФВ ЛЖ, %	34 [30; 39]	>52 (м), >54 (ж) [4]
GLS, %	-6 [-8; -4]	-20 [-21; -18] [1]
GWl, мм рт. ст. %	488 [357; 668]	1896 [1292; 2505] [1]
GCW, мм рт. ст. %	717 [530; 949]	2232 [1582; 2881] [1]
GWw, мм рт. ст. %	188 [137; 246]	78,5 [53; 122] [1]
GWE, %	76 [70; 81]	96 [94; 97] [1]
QRSd, мс	112 [102; 128]	<124 (м), <114 (ж) [5]
fQRS-Ta, °	151 [110; 166]	23,9 ± 24,0 [6]
sQRS-Ta, °	152 [138; 164]	< 117 (м), < 105 (ж) [5]
P/S, %	86 [63; 92]	96,8±0,2 [7]

Данные представлены в виде медианы и интерквартильного размаха – Me [Q25; Q75] или как среднее значение ± стандартное отклонение – M±SD; КДО – конечный диастолический объем, ЛЖ – левый желудочек, иКДО – индексированный конечный диастолический объем, КСО – конечный систолический объем, иКСО – индексированный конечный систолический объем, ФВ – фракция выброса, GLS – глобальная продольная деформация, GWl – индекс глобальной работы, GCW – глобальная конструктивная работа, GWw – глобальная утраченная работа, GWE – эффективность глобальной работы, QRSd – продолжительность комплекса QRS, fQRS-Ta – фронтальный угол QRS-T, sQRS-Ta – пространственный угол QRS-T, P/S – индекс планарности петли QRS, м – мужчины, ж – женщины

ность глобальной работы (global work efficiency, GWE) – отношение конструктивной работы к сумме конструктивной и утраченной работ в процентах. Поскольку работа, совершаемая левым желудочком за определенный период времени, определяется как площадь петли «давле-

ние-деформация», давление измеряется в мм рт. ст., а деформация – в %, в связи с чем размерностью показателей работы миокарда является «мм рт. ст. %».

Статистический анализ

Статистический анализ данных проводился с использованием программного обеспечения MedCalc, (MedCalc Software BVBA, Бельгия). Непрерывные переменные представлены в виде медианы и интерквартильного размаха [Q25; Q75]. Качественные переменные представлены в абсолютных и относительных величинах. Для оценки различий двух независимых количественных переменных использовался критерий Манна–Уитни. Для определения взаимосвязи между переменными проводился корреляционный анализ Спирмена. За уровень статистической значимости принимали $p < 0,05$.

Результаты

Характеристика обследованной группы представлена в таблице 1.

В таблице 2 представлены значения ЭхоКГ и ЭКГ показателей в изученной группе, а также их нормальные значения, имеющиеся в доступной литературе.

Фрагментация QRS присутствовала у 53 (80%) больных. Наличие фрагментации QRS было связано с более высокими значениями QRSd (114 [103; 130] мс и 102 [93; 114] мс, соответственно, $p=0,02$). Значения показателей миокардиальной работы у больных с наличием и отсутствием фрагментации QRS представлены в таблице 3.

Был выявлен ряд корреляционных связей ЭКГ показателей с объемами ЛЖ и характеристиками сократимости ЛЖ. Статистически значимые коэффициенты корреляции между ЭхоКГ и ЭКГ показателями представлены в таблице 4. Статистически значимых корреляционных связей ЭКГ показателей с ФВ ЛЖ в изученной группе выявлено не было, что, по-видимому, объясняется тем, что у включенных пациентов был минимальный разброс значений ФВ ЛЖ.

Таблица 3. Значения показателей миокардиальной работы у больных с наличием и отсутствием фрагментации QRS

Показатель	Фрагментация QRS		p
	Есть	Нет	
GLS, %	-6 [-8; -4]	-8 [-10; -7]	$p=0,006$
GWl, мм рт. ст. %	451 [345; 633]	592 [502; 789]	$p=0,05$
GCW, мм рт. ст. %	661 [514; 883]	907 [738; 1011]	$p=0,05$
GWw, мм рт. ст. %	204 [155; 261]	138 [108; 191]	$p=0,01$
GWE, %	74 [69; 79]	82 [78; 89]	$p=0,002$

Данные представлены в виде медианы и интерквартильного размаха – Me [Q25; Q75]; GLS – глобальная продольная деформация, GWl – индекс глобальной работы, GCW – глобальная конструктивная работа, GWw – глобальная утраченная работа, GWE – эффективность глобальной работы

Таблица 4. Коэффициенты корреляции между ЭхоКГ и ЭКГ показателями

Показатель	QRSd	fQRS-Ta	sQRS-Ta	P/S
Возраст	0,28 (p=0,02)	0,33 p=0,008	–	–0,27 (p=0,03)
КДО ЛЖ	0,32 (p=0,01)	–	0,26 (p=0,037)	–0,26 (p=0,037)
иКДО ЛЖ	0,29 (p=0,02)	–	0,31 (p=0,01)	–0,32 (p=0,01)
КСО ЛЖ	0,34 (p=0,006)	–	0,27 (p=0,028)	–0,32 (p=0,01)
иКСО ЛЖ	0,31 (p=0,01)	–	0,32 (p=0,01)	–0,35 (p=0,005)
GLS	0,26 (p=0,035)	0,34 (p=0,006)	0,39 (p=0,002)	–0,39 (p=0,002)
GWl	–	–	–0,30 (p=0,016)	0,31 (p=0,01)
GCW	–	–0,26 (p=0,037)	–0,43 (p=0,001)	0,45 (p=0,0001)
GWw	0,34 (p=0,005)	–	–	–
GWE	–0,31 (p=0,01)	–0,37 (p=0,003)	–0,34 (p=0,007)	0,39 (p=0,002)

КДО – конечный диастолический объем, ЛЖ – левый желудочек, иКДО – индексированный конечный диастолический объем, КСО – конечный систолический объем, иКСО – индексированный конечный систолический объем, ФВ – фракция выброса, GLS – глобальная продольная деформация, GWl – индекс глобальной работы, GCW – глобальная конструктивная работа, GWw – глобальная утраченная работа, GWE – эффективность глобальной работы, QRSd – продолжительность комплекса QRS, fQRS-Ta – фронтальный угол QRS-T, sQRS-Ta – пространственный угол QRS-T, P/S – индекс планарности петли QRS

Клинические примеры

Пример 1

На рисунке 1 представлены ЭКГ и ВКГ больного 43 лет. Диагноз: Дилатационная кардиомиопатия. Нарушение ритма сердца: постоянная форма ФП, нормосистолия. ХСН IIБ стадии со сниженной ФВ ЛЖ, II функциональный класс (NYHA).

На рисунке 2 приведены GLS ЛЖ (в виде «бычьего глаза»), петля давление-деформация и показатели работы миокарда того же больного.

Пример 2

На рисунке 3 представлены ЭКГ и ВКГ больного 68 лет. Диагноз: Дилатационная кардиомиопатия. Нарушение ритма сердца: постоянная форма ФП, нормосистолия. ХСН IIБ стадии со сниженной ФВ ЛЖ, III функциональный класс (NYHA).

На рисунке 4 приведены GLS ЛЖ (в виде «бычьего глаза»), петля давление-деформация и показатели работы миокарда того же больного.

В представленных примерах у второго пациента более выраженные процессы патологического электрического ремоделирования миокарда совпадают с более серьезным ухудшением ФВ ЛЖ (30%), GLS и параметров работы миокарда по сравнению с первым пациентом (ФВ ЛЖ 37%).

Обсуждение

Появление новых подходов к лечению ХСН побуждает разрабатывать более эффективные диагностические методы, позволяющие целенаправленно подбирать кандидатов для разных методов лечения и оценивать эффективность терапии. К перспективным диагностическим методикам относится оценка эффективности миокардиальной работы по данным ЭхоКГ.

Рисунок 1. ЭКГ и ВКГ больного ДКМП 43 лет.

Фрагментация QRS указана стрелками. QRSd 110 мс, fQRS-Ta 112°, sQRS-Ta 138°, P/S 96 %

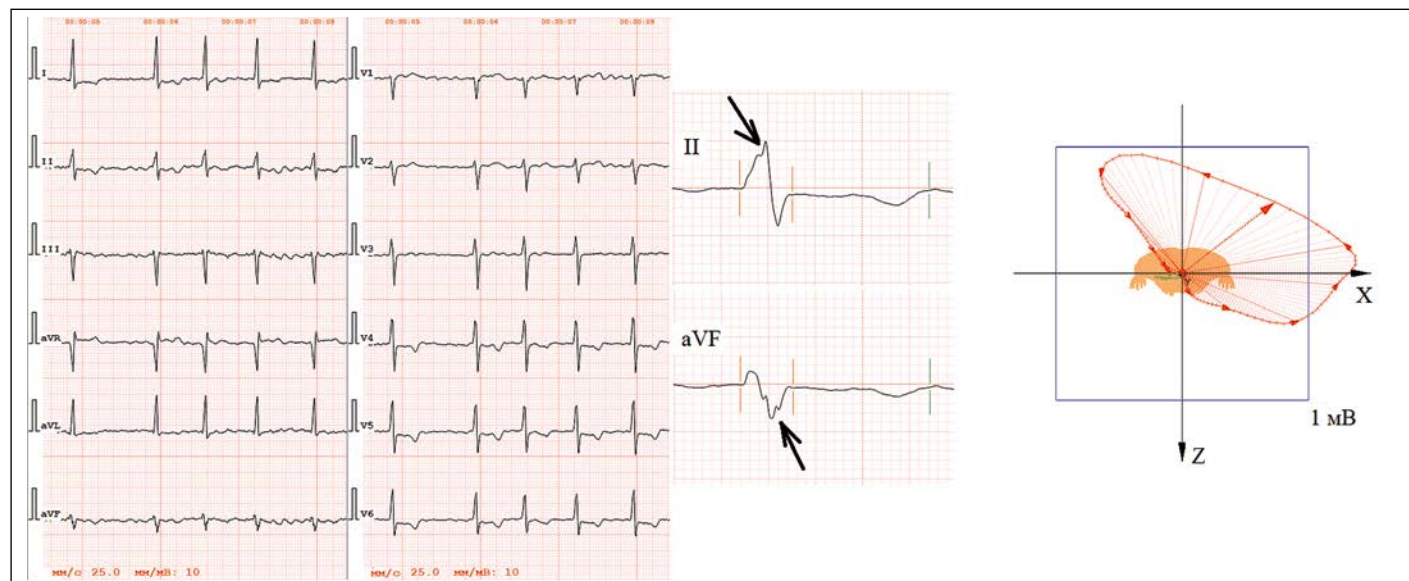


Рисунок 2. Глобальная продольная деформация ЛЖ (в виде «бычьего глаза»), петля давление-деформация и показатели работы миокарда больного ДКМП 43 лет. GLS –8%, GWI 571 мм рт. ст. %, GCW 914 мм рт. ст. %, GWW 266 мм рт. ст. %, GWE 77%, АД 110/70 мм рт. ст.

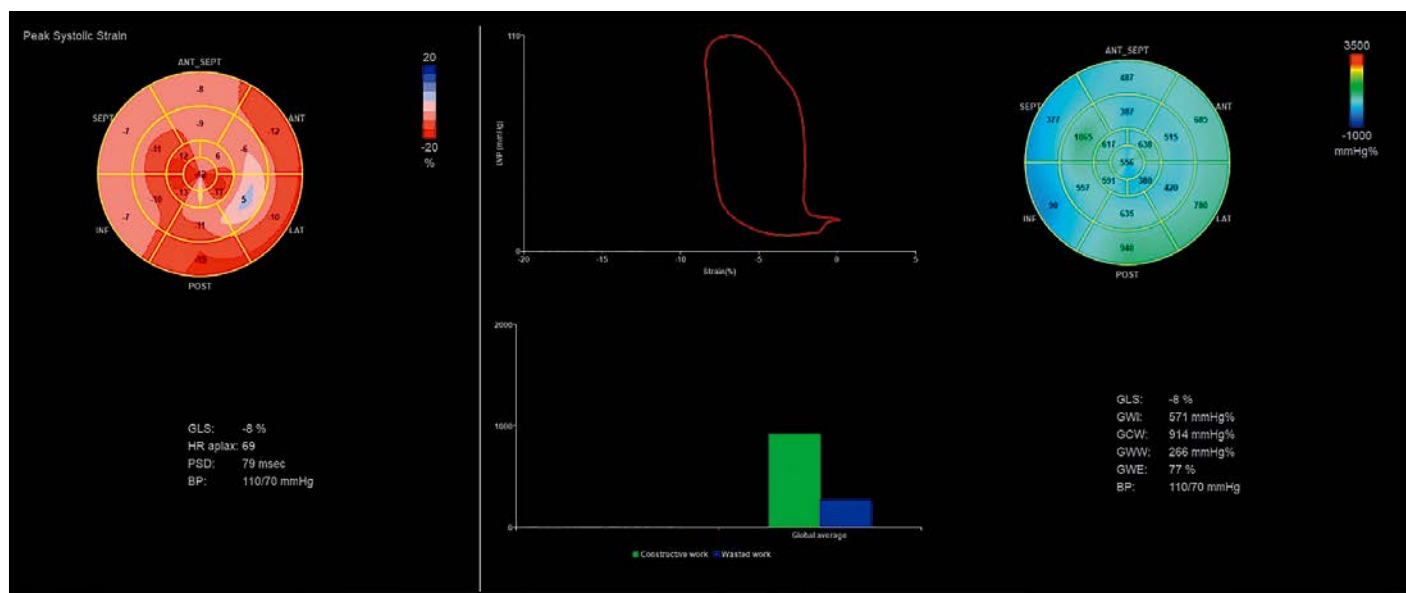
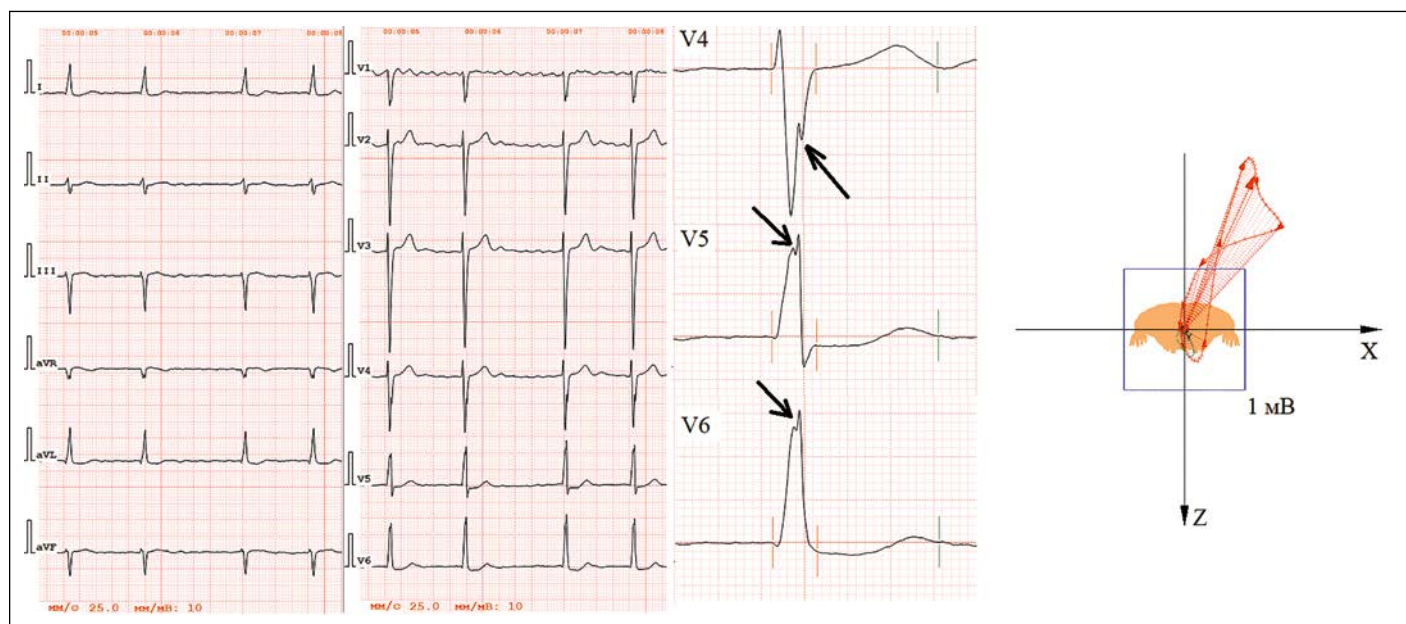


Рисунок 3. ЭКГ и ВКГ больного ДКМП 68 лет. Фрагментация QRS указана стрелками. QRSd 104 мс, fQRS-Ta 152°, sQRS-Ta 154°, P/S 44 %



В нашем пилотном исследовании мы впервые провели сопоставление ЭКГ показателей с ЭхоКГ параметрами, характеризующими сократимость ЛЖ, у больных ХСН с низкой ФВ ЛЖ и ФП.

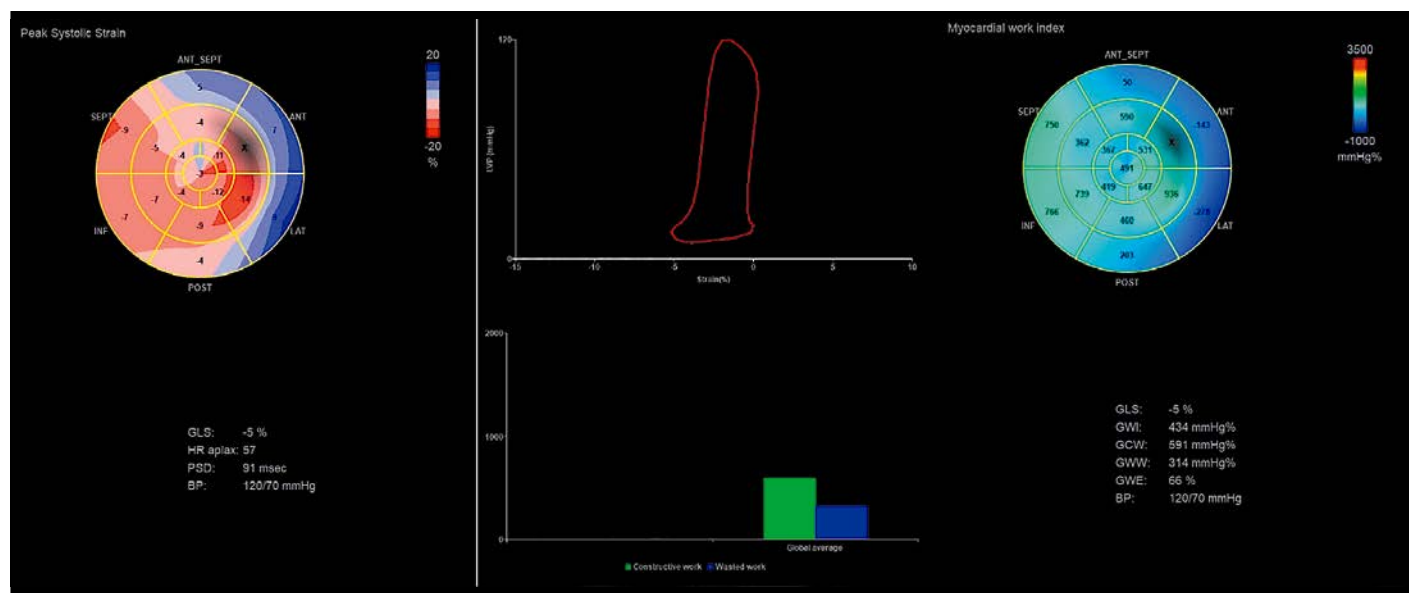
QRSd – известный маркер электрического ремоделирования миокарда. В нашем исследовании QRSd имела положительную корреляционную связь с GWW.

Фрагментация QRS в популяционном исследовании [8] встречалась почти у 20% людей среднего возраста; у лиц без сердечно-сосудистых заболеваний не была связана с увеличением риска смерти, а у лиц с сердечно-сосудистыми заболеваниями почти в 2 раза увеличивала риск

общей смертности и в 2,5 раза – смертности от сердечно-сосудистых заболеваний.

Фрагментация комплекса QRS у больных ХСН с низкой ФВ ЛЖ является независимым предиктором общей смертности [9], а у больных ДКМП с узким комплексом QRS связана с диссинхронией левого желудочка [10]. Причинами возникновения фрагментации QRS могут быть фиброз миокарда, изменения ионных токов и нейрорегуляторных механизмов [11]. В нашей группе наличие фрагментации QRS было связано с ухудшением GLS, более высокими значениями GWW и более низкой GWE. Недостатком метода оценки фрагментации QRS являет-

Рисунок 4. Глобальная продольная деформация ЛЖ (в виде «бычьего глаза») и петля давление-деформация и показатели работы миокарда больного ДКМП 68 лет. GLS –5%, GWI 434 мм рт. ст. %, GCW 591 мм рт. ст. %, GWW 314 мм рт. ст. %, GWE 66%, АД 120/70 мм рт. ст.



ся субъективизм ее оценки и, соответственно, высокая внутри- и межоператорская вариабельность [10].

Планарность петли QRS считается одним из перспективных показателей для выявления структурного заболевания сердца [12]. В нашем исследовании индекс планарности петли QRS имел корреляционные связи как с объемами ЛЖ, так и с показателями миокардиальной работы.

В работе Gotsman I. [13] на большой когорте пациентов с ХСН показано, что fQRS-Ta на исходной ЭКГ увеличивался при уменьшении ФВ ЛЖ и был предиктором общей смертности. В исследовании Gleeson S. [14] у больных с ФВ ЛЖ 31–40% увеличение sQRS-Ta было связано с увеличением КДО, КСО, уменьшением ФВ ЛЖ; более чем в 3 раза возрастал риск серьезных аритмических событий и общей смертности; более чем в 4 раза – риск госпитализаций по поводу ХСН. В нашей группе sQRS-Ta и fQRS-Ta имели корреляционные связи с GLS и показателями миокардиальной работы.

Наша работа имеет ряд ограничений. В исследование были включены только больные с низкой ФВ ЛЖ. Возможно, при включении в исследование также больных ХСН с сохраненной ФВ ЛЖ, больных без ХСН и здоровых лиц корреляционные связи изученных показателей могли бы оказаться более сильными.

В нашем исследовании мы не касались вопроса возможности использования изученных показателей для прогнозирования ответа на терапию и их изменений на фоне лечения. Всё это может быть предметом дальнейших исследований.

Заключение

В настоящем исследовании на группе больных ХСН II–III ФК с низкой ФВ ЛЖ и ФП проведено сопоставление ЭКГ показателей с ЭхоКГ параметрами, характеризующими сократимость ЛЖ. Наличие фрагментации комплекса QRS было связано с ухудшением GLS, более высокими значениями GWW и более низкой GWE. Был выявлен ряд слабых, но достоверных корреляционных связей изученных показателей. Дальнейшее изучение данных параметров может быть перспективным для оценки выраженности изменений структурно-функционального состояния миокарда при наличии у больных различной сердечно-сосудистой патологии.

Финансирование

Источники финансирования отсутствуют.

Конфликт интересов не заявлен.

Статья поступила 12.07.2022

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Safiullina A.A., Uskach T.M., Dobrovolskaya S.V., Saidova M.A., Zhirov I.V., Tereshchenko S.N. Myocardial remodeling in patients with chronic heart failure and implanted cardiac contractility modulators. Therapeutic Archive. 2021;93(12):1443–50. [Rus-

sian: Сафиуллина А.А., Ускач Т.М., Добровольская С.В., Саидова М.А., Жиров И.В., Терещенко С.Н. Ремоделирование миокарда у пациентов с хронической сердечной недостаточностью и имплантированными модуляторами сердечной сокра-

- тимости по данным эхокардиографии. *Терапевтический архив*. 2021;93(12):1443–50]. DOI: 10.26442/00403660.2021.12.201218
2. Olesen LL, Andersen A. ECG as a first step in the detection of left ventricular systolic dysfunction in the elderly. *ESC Heart Failure*. 2016;3(1):44–52. DOI: 10.1002/ehf2.12067
3. Tereshchenko S.N., Galyavich A.S., Uskach T.M., Ageev F.T., Arutyunov G.P., Begrambekova Yu.L. et al. 2020 Clinical practice guidelines for Chronic heart failure. *Russian Journal of Cardiology*. 2020;25(11):311–74. [Russian: Терещенко С.Н. Галявич А.С., Ускач Т.М., Агеев Ф.Т., Арутюнов Г.П., Беграмбекова Ю.Л. и др. Хроническая сердечная недостаточность. Клинические рекомендации 2020. *Российский кардиологический журнал*. 2020;25(11):311–74]. DOI: 10.15829/1560-4071-2020-4083
4. Lang RM, Badano LP, Mor-Avi V, Afilalo J, Armstrong A, Ernande L et al. Recommendations for Cardiac Chamber Quantification by Echocardiography in Adults: An Update from the American Society of Echocardiography and the European Association of Cardiovascular Imaging. *Journal of the American Society of Echocardiography*. 2015;28(1):1–39.e14. DOI: 10.1016/j.echo.2014.10.003
5. Rijnbeek PR, Van Herpen G, Bots ML, Man S, Verweij N, Hofman A et al. Normal values of the electrocardiogram for ages 16–90years. *Journal of Electrocardiology*. 2014;47(6):914–21. DOI: 10.1016/j.jelectrocard.2014.07.022
6. Zhang Z, Prineas RJ, Case D, Soliman EZ, Rautaharju PM. Comparison of the Prognostic Significance of the Electrocardiographic QRS/T Angles in Predicting Incident Coronary Heart Disease and Total Mortality (from the Atherosclerosis Risk In Communities Study). *The American Journal of Cardiology*. 2007;100(5):844–9. DOI: 10.1016/j.amjcard.2007.03.104
7. Boytsov S.A., Grizhayev S.L., Lastochkin I.G., Pinegin A.N. Diagnostic effectiveness of spatial indices of computed vectorcardiography for evaluation of left ventricular hypertrophy. *Arterial Hypertension*. 2003;9(4):142–4. [Russian: Бойцов С.А., Гришаев С.Л., Ласточкин И.Г., Пинегин А.Н. Диагностическая эффективность пространственных показателей компьютерной векторкардиографии для оценки гипертрофии левого желудочка сердца. *Артериальная гипертензия*. 2003;9(4):142–4]. DOI: 10.18705/1607-419X-2003-9-4-142-144
8. Terho HK, Tikkanen JT, Junttila JM, Anttonen O, Kenttä TV, Aro AL et al. Prevalence and Prognostic Significance of Fragmented QRS Complex in Middle-Aged Subjects With and Without Clinical or Electrocardiographic Evidence of Cardiac Disease. *The American Journal of Cardiology*. 2014;114(1):141–7. DOI: 10.1016/j.amjcard.2014.03.066
9. Kanitsoraphan C, Rattanawong P, Mekraksakit P, Chongsathidkiet P, Riangwiwat T, Kanjanahattakij N et al. Baseline fragmented QRS is associated with increased all-cause mortality in heart failure with reduced ejection fraction: A systematic review and meta-analysis. *Annals of Noninvasive Electrocardiology*. 2019;24(2):e12597. DOI: 10.1111/anec.12597
10. Supreeth RN, Francis J. Fragmented QRS – Its significance. *Indian Pacing and Electrophysiology Journal*. 2020;20(1):27–32. DOI: 10.1016/j.ipej.2019.12.005
11. Parmon E.V., Gordeeva M.S., Kurilenko T.A., Berngardt E.R. QRS complex fragmentation – an important marker of abnormal depolarization. *Russian Journal of Cardiology*. 2017;22(8):90–5. [Russian: Пармон Е.В., Гордеева М.С., Куриленко Т.А., Бернгардт Э.Р. Фрагментация QRS-комплекса – важный электрокардиографический маркер нарушения деполяризации. *Российский кардиологический журнал*. 2017;22(8):90–5]. DOI: 10.15829/1560-4071-2017-8-90-95
12. Sedaghat G, Ghafoori E, Waks JW, Kabir MM, Shvilkin A, Josephson ME et al. Quantitative Assessment of Vectorcardiographic Loop Morphology. *Journal of Electrocardiology*. 2016;49(2):154–63. DOI: 10.1016/j.jelectrocard.2015.12.014
13. Gotsman I, Shauer A, Elizur Y, Zwas DR, Lotan C, Keren A. Temporal changes in electrocardiographic frontal QRS-T angle and survival in patients with heart failure. *PLOS ONE*. 2018;13(3):e0194520. DOI: 10.1371/journal.pone.0194520
14. Gleeson S, Liao Y-W, Dugo C, Cave A, Zhou L, Ayar Z et al. ECG-derived spatial QRS-T angle is associated with ICD implantation, mortality and heart failure admissions in patients with LV systolic dysfunction. *PLOS ONE*. 2017;12(3):e0171069. DOI: 10.1371/journal.pone.0171069