

<https://doi.org/10.29001/2073-8552-2023-39-3-75-85>  
УДК 616.124.2:612.176:616.12-005.4-073.43-8

# Показатели глобальной миокардиальной работы левого желудочка при стресс-эхокардиографии с физической нагрузкой в диагностике стабильной ишемической болезни сердца

М.Н. Алёхин<sup>1, 2</sup>, С.И. Иванов<sup>1</sup>, Н.Ф. Радова<sup>1, 2</sup>

<sup>1</sup> Центральная государственная медицинская академия Управления делами Президента Российской Федерации, 121359, Российская Федерация, Москва, ул. Маршала Тимошенко, 19, стр. 1а

<sup>2</sup> Центральная клиническая больница с поликлиникой Управления делами Президента Российской Федерации, 121359, Российская Федерация, Москва, ул. Маршала Тимошенко, 15

## Аннотация

**Цель:** определение возможности выявления пациентов со значимым поражением коронарного русла с помощью оценки показателей глобальной миокардиальной работы левого желудочка (ЛЖ) путем построения кривых давление-деформация при стресс-эхокардиографии (стресс-ЭхоКГ) с физической нагрузкой.

**Материал и методы.** В исследование были включены 136 пациентов в возрасте от 36 до 84 лет, из них 97 (71%) мужчин, с предполагаемой или подтвержденной ранее ишемической болезнью сердца (ИБС), которым были выполнены стресс-ЭхоКГ с тредмилом по протоколу Bruce. С помощью методики построения кривых давление-деформация в покое и на максимуме нагрузки рассчитывали индекс глобальной миокардиальной работы ЛЖ (GWI), глобальную конструктивную работу (GCW), глобальную потерянную работу (GWW), эффективность глобальной миокардиальной работы (GWE). Пациентам проводилась селективная коронароангиография (КАГ), по результатам которой они были разделены на 3 группы: 51 пациент без значимого поражения коронарных артерий (КА) – контрольная группа, 57 пациентов с однососудистым и 28 пациентов с многососудистым поражением КА. Различия признавались достоверными при уровне значимости  $p < 0,05$ .

**Результаты.** При сравнении с контрольной группой у пациентов с однососудистым поражением КА в покое были достоверно меньше GWE и больше GWW. На максимуме нагрузки у этих пациентов GWI, GCW и GWE были достоверно ниже, а GWW достоверно больше. У пациентов с многососудистым поражением КА все показатели значимо отличались от контрольной группы как в покое, так и на максимуме нагрузки. Значения GWI на максимуме нагрузки  $\leq 2553$  мм рт. ст. % позволяли заподозрить наличие значимого поражения КА с чувствительностью 62% и специфичностью 95% (площадь под кривой AUC  $0,79 \pm 0,05$ ;  $p < 0,001$ ).

**Заключение.** Оценка показателей глобальной миокардиальной работы ЛЖ с помощью построения кривых давление-деформация может быть использована при стресс-ЭхоКГ с физической нагрузкой для совершенствования отбора пациентов, нуждающихся в проведении коронарного вмешательства.

<b>Ключевые слова:</b>	миокардиальная работа, кривая давление-деформация, ишемическая болезнь сердца, стресс-эхокардиография.
<b>Конфликт интересов:</b>	авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.
<b>Прозрачность финансовой деятельности:</b>	бюджетное финансирование, никто из авторов не имеет финансовой заинтересованности в представленных результатах или методах.
<b>Соответствие принципам этики:</b>	перед выполнением исследования у всех пациентов было получено информированное добровольное согласие. Протокол исследования был одобрен локальным этическим комитетом Центральной государственной медицинской академии Управления делами Президента Российской Федерации (протокол № 12/2019 от 17.09.2019 г.).
<b>Для цитирования:</b>	Алёхин М.Н., Иванов С.И., Радова Н.Ф. Показатели глобальной миокардиальной работы левого желудочка при стресс-эхокардиографии с физической нагрузкой в диагностике стабильной ишемической болезни сердца. <i>Сибирский журнал клинической и экспериментальной медицины</i> . 2023;39(3):75–85. <a href="https://doi.org/10.29001/2073-8552-2023-39-3-75-85">https://doi.org/10.29001/2073-8552-2023-39-3-75-85</a> .

# Indicators of global myocardial work of the left ventricle during exercise stress echocardiography in the diagnosis of stable coronary heart disease

Mikhail N. Alekhin<sup>1, 2</sup>, Sergey I. Ivanov<sup>1</sup>, Natalya F. Radova<sup>1, 2</sup>

<sup>1</sup> Central State Medical Academy of Department of Presidential Affairs, Central State Medical Academy of the Office of the President of the Russian Federation

19, stroenie 1A, Marshala Timoshenko str., Moscow, 121359, Russian Federation

<sup>2</sup> Central Clinical Hospital of the Presidential Administration of the Russian Federation,

15, Marshala Timoshenko str., Moscow, 121359, Russian Federation

## Abstract

**Aim:** To determine the possibility of identifying patients with significant coronary artery disease (CAD) by evaluation of the global left ventricular (LV) myocardial work indicators by constructing pressure-strain loops during exercise stress echocardiography.

**Material and Methods.** The study included 136 patients aged 36 to 84 years, of which 97 (71%) men, with suspected or previously confirmed CAD, who underwent stress echocardiography on the treadmill according to the Bruce protocol. LV myocardial work index (GWI), global constructive work (GCW), global wasted work (GWW) and global myocardial work efficiency (GWE) were evaluated using the technique of constructing pressure-strain loops at rest and at peak exercise. All patients underwent selective coronary angiography, according to the results of which they were divided into 3 groups: 51 patients without coronary artery lesions – the control group, 57 patients with single-vessel CAD and 28 patients with multi-vessel CAD. Significant lesion was defined as  $\geq 70\%$  artery luminal narrowing. All tests were two-sided and P-values  $< 0.05$  were considered statistically significant.

**Results.** Compared with the control group, patients with single-vessel CAD at rest had significantly less GWE and more GWW. In these patients GWI, GCW and GWE at peak exercise were significantly lower, and GWW was significantly higher. In patients with multi-vessel CAD, all global LV myocardial work indicators significantly differed from the control group both at rest and at peak exercise. The optimal cutoff value of GWI at peak exercise to predict significant CAD was 2553 mmHg% with a sensitivity of 62% and a specificity of 95% (AUC  $0.79 \pm 0.05$ ,  $p < 0.001$ ).

**Conclusions.** The evaluation of global LV myocardial work indicators by constructing pressure-strain loops can be used in exercise stress echocardiography to improve the selection of patients requiring coronary intervention.

<b>Keywords:</b>	myocardial work, pressure-strain loop, coronary artery disease, stress echocardiography.
<b>Conflict of interest:</b>	the authors do not declare a conflict of interest.
<b>Financial disclosure:</b>	budget financing, none of the authors has a financial interest in the presented results or methods.
<b>Adherence to ethical standards:</b>	informed consent was obtained from all patients prior to the study. The study protocol was approved by the local ethics committee of the Central State Medical Academy of Department of Presidential Affairs of the Russian Federation (protocol No. 12/2019 dated 17.09.2019).
<b>For citation:</b>	Alekhin M.N., Ivanov S.I., Radova N.F. Indicators of global myocardial work of the left ventricle during exercise stress echocardiography in the diagnosis of stable coronary heart disease. <i>The Siberian Journal of Clinical and Experimental Medicine</i> . 2023;38(3):75–85. <a href="https://doi.org/10.29001/2073-8552-2023-38-3-75-85">https://doi.org/10.29001/2073-8552-2023-38-3-75-85</a> .

## Введение

Раннее выявление признаков ишемии при стабильной ишемической болезни сердца (ИБС) продолжает оставаться активно изучаемой проблемой кардиологии. Глобальная продольная систолическая деформация (ГПСД), определяемая с помощью технологии спекл-трекинг, зарекомендовала себя как жизнеспособный альтернативный инструмент количественной оценки систолической функции левого желудочка (ЛЖ) [1]. В исследованиях было убедительно доказано, что ГПСД более чувствительна к ишемическим изменениям, чем фракция выброса (ФВ) ЛЖ и является надежным предиктором поражения коронарного русла [2, 3]. Однако, как и ФВ ЛЖ, ГПСД

достоверно зависит от нагрузки стенки желудочка при сокращении миокарда, соответственно она изменяется в условиях повышенной пред- или постнагрузки [4]. Для преодоления этого недостатка было разработано дополнение к технологии спекл-трекинг – оценка показателей миокардиальной работы ЛЖ с помощью построения кривых давление-деформация [5]. Хорошо коррелирующие с ФВ ЛЖ и ГПСД показатели миокардиальной работы позволяют провести более углубленную оценку систолической функции в широком диапазоне физиологических и патологических состояний, выходящих за рамки традиционных методов эхокардиографии (ЭхоКГ), предоставляя дополнительную информацию вне зависимости от условий нагрузки [6].

Преимущества неинвазивной оценки миокардиальной работы ЛЖ были продемонстрированы в диагностике и прогнозировании как острых, так и хронических форм ИБС [7, 8]. У пациентов с нормальной ФВ ЛЖ и без нарушений локальной сократимости (НЛС) показатели глобальной и региональной миокардиальной работы в покое являлись достоверными предикторами наличия значимого поражения коронарных артерий (КА), более чувствительными, чем ГПСД [9, 10]. N.F.A. Edwards и соавт. изучали возможность приложения оценки показателей миокардиальной работы ЛЖ в покое к интерпретации результатов стресс-эхокардиографии (стресс-ЭхоКГ) с физической нагрузкой [11]. В нескольких исследованиях были описаны специфические изменения показателей в ответ на нагрузку в норме и при ишемии [12, 13], однако важность оценки миокардиальной работы ЛЖ при проведении стресс-ЭхоКГ для выявления пациентов, нуждающихся в проведении чрескожного коронарного вмешательства (ЧКВ), заслуживает отдельного внимания.

Цель данного исследования: определение возможностей оценки показателей миокардиальной работы ЛЖ путем построения кривых давление-деформация при стресс-ЭхоКГ с физической нагрузкой по выявлению пациентов со значимым поражением коронарного русла.

## Материал и методы

В исследование были включены 136 пациентов в возрасте от 36 до 84 лет, из них 97 (71%) мужчин, проходивших стационарное лечение в ФГБУ «Центральная клиническая больница с поликлиникой» Управления делами Президента Российской Федерации в период с сентября 2019 по март 2021 гг. Критериями включения в исследование были подозрение на наличие у пациента ИБС или ранее установленный клинический диагноз ИБС; проведение стресс-ЭхоКГ с физической нагрузкой и инвазивной селективной коронароангиографии (КАГ) в течение одной госпитализации; отсутствие НЛС ЛЖ в покое; ФВ ЛЖ в покое  $\geq 50\%$  по данным трансторакальной ЭхоКГ; добровольное информированное согласие пациента на участие в исследовании. Критерии исключения: наличие врожденного порока сердца, тяжелой клапанной патологии, кардиомиопатии, нарушений внутрижелудочковой проводимости, неоптимальная визуализация сердца, нерегулярный ритм, невозможность выполнения расчета

ГПСД и показателей миокардиальной работы ЛЖ в покое или на максимуме нагрузки при проведении стресс-ЭхоКГ. Протокол исследования был одобрен локальным этическим комитетом ФГБУ ДПО «Центральная государственная медицинская академия» Управления делами Президента Российской Федерации (протокол № 12/2019 от 17.09.2019 г.).

У всех пациентов оценивались данные анамнеза и медицинской документации, проводились инструментальные исследования: регистрация и оценка электрокардиограммы (ЭКГ), трансторакальная ЭхоКГ, стресс-ЭхоКГ с физической нагрузкой на тредмиле, инвазивная селективная КАГ по методу Judkins.

По результатам КАГ пациенты были разделены на 3 группы. В первую группу (контрольную) был включен 51 пациент без значимого стенозирования КА по данным протоколов. Во вторую группу вошли 57 пациентов со значимым стенозом в одной из трех крупных эпикардиальных КА, которым в связи с этим стенозом было выполнено или рекомендовано к выполнению ЧКВ. Под значимым стенозом подразумевалось сужение  $\geq 70\%$  просвета артерии или ее крупной ветви [14]. Третью группу составили 28 пациентов с многососудистым поражением коронарного русла. У этих пациентов были выявлены значимые стенозы или окклюзии двух или трех крупных КА, в том числе стеноз  $\geq 50\%$  ствола левой КА. Этим пациентам было рекомендовано выполнение реваскуляризации в объеме коронарного шунтирования или ЧКВ в нескольких этапах.

Трансторакальная ЭхоКГ выполнялась на аппарате GE Vivid E95 с помощью секторного фазированного датчика M5S с частотой 3,5 МГц. Проводились стандартные измерения размеров и объемов камер сердца, толщины стенок ЛЖ с расчетом массы миокарда [15]. Оценивалось соотношение пиков раннего диастолического наполнения ЛЖ к систоле предсердий при доплеровском исследовании трансмитрального кровотока (E/A) и отношение скорости раннего диастолического наполнения ЛЖ к ранней диастолической скорости движения септальной части митрального кольца (E/e'). Фракция выброса ЛЖ определялась модифицированным методом Симпсона в четырех- и двухкамерных верхушечных позициях. Клинические и эхокардиографические характеристики включенных в исследование пациентов представлены в таблице 1.

**Таблица 1.** Клиническая характеристика и данные трансторакальной эхокардиографии исследованных пациентов по группам

**Table 1.** Clinical characteristics and echocardiographic parameters of patients by groups

Показатели Parameters	Пациенты без значимых стенозов коронарных артерий (n = 51) Patients without significant coronary artery lesions (n = 51)	Пациенты с однососудистым поражением коронарных артерий (n = 57) Patients with single-vessel coronary artery disease (n = 57)	Пациенты с многососудистым поражением коронарных артерий (n = 28) Patients with multi-vessel coronary artery disease (n = 28)
Мужчины Men	32 (63)	40 (70)	25 (89)
Возраст, лет Age, years	59,5 $\pm$ 11,5	65,4 $\pm$ 9,6	66,7 $\pm$ 9,1
ИМТ, кг/м <sup>2</sup> BMI, kg/m <sup>2</sup>	26,5 (24,6–31,2)	28,2 (27,4–31,9)	27,8 (25,5–30,8)
ППТ, м <sup>2</sup> BSA, m <sup>2</sup>	1,95 $\pm$ 0,21	2,02 $\pm$ 0,22	2,04 $\pm$ 0,19
Курение Smoking	20 (39)	24 (42)	15 (54)
Дислипидемия Dyslipidemia	18 (35)	24 (42)	21 (75)

Окончание табл. 1  
End of table 1

Показатели Parameters	Пациенты без значимых стенозов коронарных артерий ( <i>n</i> = 51) Patients without significant coronary artery lesions ( <i>n</i> = 51)	Пациенты с односудистым поражением коронарных артерий ( <i>n</i> = 57) Patients with single-vessel coronary artery disease ( <i>n</i> = 57)	Пациенты с многосудистым поражением коронарных артерий ( <i>n</i> = 28) Patients with multi-vessel coronary artery disease ( <i>n</i> = 28)
Гипертоническая болезнь Arterial hypertension	38 (75)	47 (82)	23 (82)
Сахарный диабет Diabetes mellitus	15 (29)	20 (35)	14 (50)
ИБС, ранее диагностированная CAD, previously diagnosed	24 (47)	35 (61)	25 (89)
Инфаркт миокарда в анамнезе History of myocardial infarction	2 (4)	6 (11)	5 (18)
ЧКВ в анамнезе History of PCI	8 (16)	12 (21)	10 (36)
Прием лекарственных препаратов: Medications:			
– АСК Acetylsalicylic acid	18 (35)	24 (42)	20 (71)
– другие антиагреганты other antiaggregants	6 (12)	8 (14)	6 (21)
– антикоагулянты anticoagulants	7 (14)	11 (19)	4 (14)
– статины statins	25 (49)	30 (53)	21 (75)
– БАБ beta blockers	27 (53)	28 (49)	20 (71)
– иАПФ или БРА ACE inhibitors or ARBs	35 (69)	36 (63)	16 (57)
– БКК CCBs	10 (20)	9 (16)	8 (29)
– нитраты nitrates	0 (0)	2 (4)	2 (7)
КДР ЛЖ, мм LV end-diastolic dimension, mm	48,0 ± 3,9	48,9 ± 4,1	50,1 ± 4,3
МЖП, мм IVS, mm	10,0 (9,0–11,0)	10,0 (10,0–11,0)	11,0 (11,0–12,0)
ЗС ЛЖ, мм LV PW thickness, mm	10,0 (9,0–11,0)	11,0 (10,0–11,0)	11,0 (10,0–12,0)
ММ ЛЖ, г LV mass, g	175,81 ± 41,03	185,97 ± 42,12	209,49 ± 52,06
иММ ЛЖ, г/м <sup>2</sup> LV mass index, g/m <sup>2</sup>	90,78 ± 15,44	93,98 ± 17,23	106,10 ± 24,35
КДО ЛЖ, мл LV EDV, ml	111,5 ± 26,0	108,0 ± 27,7	118,1 ± 30,2
E/A	0,96 ± 0,33	0,87 ± 0,28	0,78 ± 0,25
E/e'	8,0 (7,0–9,5)	10,5 (9,0–13,0)	11,0 (10,0–13,0)
Объем ЛП, мл LA volume, ml	58,2 ± 11,9	64,2 ± 13,1	70,2 ± 15,6

Примечание: данные представлены в виде абсолютного числа больных (%), при нормальном распределении в виде  $M \pm SD$ , при распределении, отличном от нормального в виде  $Me (Q_1-Q_3)$ . ИМТ – индекс массы тела, ППТ – площадь поверхности тела, ИБС – ишемическая болезнь сердца, ЧКВ – чрескожное коронарное вмешательство, АСК – ацетилсалициловая кислота, БАБ – бета-адреноблокаторы, иАПФ – ингибиторы ангиотензинпревращающего фермента, БРА – антагонисты рецепторов ангиотензина II, БКК – блокаторы «медленных» кальциевых каналов, КДР – конечно-диастолический размер, МЖП – толщина межжелудочковой перегородки в конце диастолы, ЗС – толщина задней стенки в конце диастолы, ММ – масса миокарда, иММ – индекс массы миокарда, КДО – конечно-диастолический объем, E/A – соотношение пиков раннего диастолического наполнения ЛЖ к систоле предсердий при доплеровском исследовании трансмитрального кровотока, E/e' – отношение скорости раннего диастолического наполнения ЛЖ к ранней диастолической скорости движения септальной части митрального кольца, ЛП – левое предсердие. Жирным выделены значения показателей со статистически значимым отличием от контрольной группы ( $p < 0,05$ ).

Note: Data are presented as the absolute number of patients (%), as  $M \pm SD$  for a normal distribution, as  $Me (Q_1-Q_3)$  for a non-normal distribution. BMI – body mass index, BSA – body surface area, CAD – coronary artery disease, PCI – percutaneous coronary intervention, ACE – angiotensin-converting enzyme, ARBs – angiotensin II receptor blockers, CCBs – calcium channel blockers, IVS – interventricular septum, PW – posterior wall, EDV – end-diastolic volume, E/A – the ratio of peak E-wave velocity to peak A-wave velocity in Doppler method for transmitral blood flow, E/e' – the ratio of peak E-wave velocity to Pulsed-wave tissue Doppler e' velocity, LA – left atrium. Bold font indicates the values of parameters with a statistically significant difference from the control group ( $p < 0.05$ ).



Стресс-ЭхоКГ выполнялась в соответствии с общепризнанными правилами ее проведения с дозированной физической нагрузкой по протоколу Bruce на тредмиле GE Healthcare Series 2100 с регистрацией ЭКГ и частоты сердечных сокращений (ЧСС) в покое и во время нагрузки, артериальное давление (АД) измерялось вручную сфигмоманометром в плечевой артерии [16]. Применялся двухэтапный протокол стресс-ЭхоКГ с регистрацией данных в исходном состоянии и сразу после прекращения нагрузки на тредмиле. После прекращения нагрузки использовалась длительная регистрация цифровых данных ЭхоКГ исследования с последующим выбором наиболее качественных клипов с частотой кадров не менее 50 в с. При этом регистрировали пять позиций: из верхушечного доступа длинную ось ЛЖ, позиции на 4 и 2 камеры, из парастерального доступа

длинную ось ЛЖ и короткую ось на уровне папиллярных мышц ЛЖ.

Наряду с визуальной оценкой сократимости ЛЖ при ЭхоКГ исследовании в исходном состоянии и сразу после прекращения нагрузки на тредмиле для расчета показателей миокардиальной работы ЛЖ оценивали продольную систолическую деформацию с помощью технологии спекл-трекинг с применением алгоритма программного обеспечения Automated Functional Imaging (AFI), определяли моменты открытия и закрытия митрального и аортального клапанов с помощью импульсно-волнового доплера или визуально из трехкамерной верхушечной позиции. С помощью методики построения кривых давление-деформация, входящей в программный пакет GE EchoPAC (версия 202), оффлайн рассчитывали показатели глобальной миокардиальной работы ЛЖ (рис. 1):

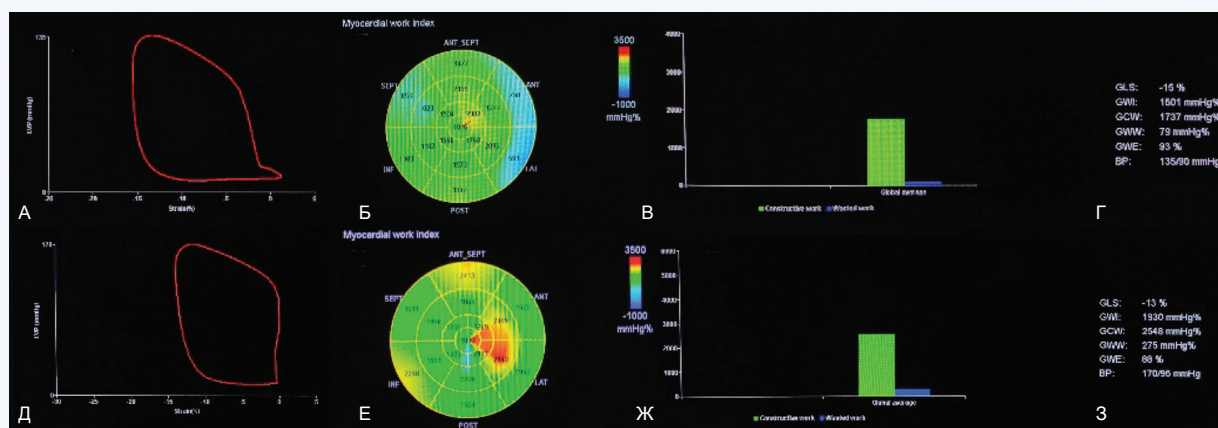


Рис. 1. Пример оценки показателей миокардиальной работы левого желудочка у пациента со стабильной ишемической болезнью сердца в покое (А, Б, В, Г) и на максимуме нагрузки (Д, Е, Ж, З) при проведении стресс-эхокардиографии с физической нагрузкой. Проба не доведена до диагностических критериев, по данным коронароангиографии – стенозы 99% в п/3 обгибающей артерии и 70% в с/3 правой коронарной артерии

Примечание: А и Д – кривая (петля) давление-деформация, Б и Е – диаграмма вида «бычий глаз» со значениями индекса региональной (сегментарной) миокардиальной работы для 17 сегментов ЛЖ. Согласно шкале справа зеленым цветом выделены сегменты с условно нормальными значениями, желтым и красным – с повышенными значениями, голубым и синим – со сниженными. В и Ж – столбчатая диаграмма соотношения GCW и GWW, Г и З – отображение на экране значений показателей глобальной миокардиальной работы, GLS – глобальная продольная систолическая деформация, GWI – индекс глобальной миокардиальной работы, GCW – глобальная конструктивная работа, GWW – глобальная потерянная работа, GWE – эффективность глобальной миокардиальной работы, BP – артериальное давление.

Fig. 1. The example of evaluation of the global LV myocardial work indicators in patient with stable CAD at rest (A, B, V, Г) and at peak exercise (Д, Е, Ж, З) during exercise stress echocardiography. The test was not brought up to diagnostic criteria, there were 99% stenosis in proximal third of the circumflex artery and 70% in middle third of the right coronary artery according to coronary angiography

Note: A and Д – pressure-strain loop, Б and Е – bull's-eye diagram with regional (segmental) myocardial work index values for 17 LV segments. According to the scale on the right, segments with normal values are highlighted in green, with increased values in yellow and red, and with reduced values in blue. В and Ж – column chart of GCW vs. GWW ratio, Г and З – the values of global myocardial work indicators on the display, GLS – global longitudinal strain, GWI – global myocardial work index, GCW – global constructive work, GWW – global wasted work, GWE – global myocardial work efficiency, BP – blood pressure.

1) индекс глобальной миокардиальной работы (GWI) – вся работа, совершаемая ЛЖ за период времени от закрытия до открытия митрального клапана, определяемая как площадь петли давление-деформация (измеряется в мм рт. ст. × %);

2) глобальная конструктивная работа (GCW) – выполненная миокардом ЛЖ работа, способствующая изгнанию крови во время систолы (мм рт. ст. × %), отражает укорочение кардиомиоцитов во время систолы и их удлинение в фазу изоволюмического расслабления;

3) глобальная потерянная работа (GWW) – выполненная миокардом работа, которая не способствует изгнанию крови из полости ЛЖ (мм рт. ст. × %), отражает удлинение кардиомиоцитов во время систолы и их укорочение в фазу изоволюмического расслабления;

4) эффективность глобальной миокардиальной работы (GWE) – отношение конструктивной работы к сум-

ме конструктивной и потерянной работ ( $GCW/[GCW + GWW]$ ) (измеряется в %) [9].

Для показателей стресс-ЭхоКГ и глобальной миокардиальной работы ЛЖ рассчитывали изменения ( $\Delta$ ) значений показателей в ответ на нагрузку, выраженные в процентах.

Статистическая обработка данных проводилась с помощью пакетов статистических программ SPSS 23.0 и MedCalc. Нормальность распределения количественных показателей проверялась с помощью критерия Шапиро – Уилка. При нормальном распределении показателей их представляли в виде среднего значения и стандартного отклонения, и сравнение показателей в группах проводилось с помощью  $t$ -критерия Стьюдента, при отсутствии нормального распределения – в виде медианы и межквартильного диапазона, и сравнивались показатели в группах с помощью критерия Манна – Уитни. Категориальные показатели описывались абсолютными

и относительными (в %) частотами и сравнивались в группах с помощью  $\chi^2$ – критерия Пирсона. Был проведен ROC-анализ диагностических тестов сосудистого поражения КА на основе значений GWI и GCW в покое и на максимуме нагрузки. Критический уровень статистической значимости при проверке гипотез о различиях показателей в группах составлял  $p = 0,05$ .

## Результаты

Как представлено в таблице 1, пациенты с однососудистым поражением коронарного русла были статистически значимо старше. По всем остальным показателям, кроме объема левого предсердия и показателей диастолической функции, эта группа не отличалась от контрольной. Пациенты исследования с многососудистым поражением КА тоже были значимо старше, чаще страдали дислипидемией, сахарным диабетом, по данным ЭхоКГ у них были достоверно больше камеры сердца, чаще выявлялась гипертрофия миокарда ЛЖ, что могло отрицательно повлиять на значения показателей деформации и

миокардиальной работы ЛЖ в этой группе.

В таблице 2 приведены результаты стресс-ЭхоКГ с физической нагрузкой на тредмиле, а в таблице 3 – значения показателей глобальной миокардиальной работы ЛЖ в покое и на максимуме нагрузки и их изменения в ответ на нагрузку, выраженные в процентах.

Пациенты с многососудистым поражением коронарного русла продемонстрировали статистически значимо меньший уровень пройденной нагрузки и соответственно меньшее время проведения исследования. У трети пациентов этой группы был получен положительный результат пробы как по ЭКГ-критериям, так и по оценке локальной сократимости ЛЖ. В этой группе были отмечены достоверно сниженные значения ГПСД, GWI, GCW и GWE и высокие значения GWW в покое при сравнении с пациентами без значимого стенозирования КА. На максимуме нагрузки также оказались значимо снижены значения ФВ ЛЖ. При оценке динамики изменения показателей в этой группе был отмечен достоверно меньший прирост значений GWI, GCW и GWW и снижение ГПСД в ответ на нагрузку.

**Таблица 2.** Данные стресс-эхокардиографии с физической нагрузкой на тредмиле по группам

**Table 2.** Exercise stress echocardiography on the treadmill by groups

Показатели Parameters	Пациенты без значимых стенозов коронарных артерий ( $n = 51$ ) Patients without significant coronary artery lesions ( $n = 51$ )	Пациенты с однососудистым поражением коронарных артерий ( $n = 57$ ) Patients with single-vessel coronary artery disease ( $n = 57$ )	Пациенты с многососудистым поражением коронарных артерий ( $n = 28$ ) Patients with multi-vessel coronary artery disease ( $n = 28$ )
САД в покое, мм рт. ст. SBP at rest, mmHg	125,0 (120,0–130,0)	130,0 (120,0–140,0)	130,0 (120,0–134,0)
САД на максимуме нагрузки, мм рт. ст. SBP at peak exercise, mmHg	180,0 (165,0–200,0)	180,0 (165,0–190,0)	180,0 (166,0–180,0)
$\Delta$ САД, % $\Delta$ SBP, %	+44% (+36% ... +52%)	+36% (+29% ... +50%)	+38% (+26% ... +42%)
ЧСС в покое, уд. в мин Heart rate at rest, bpm	66,0 (60,0–73,0)	66,0 (61,0–72,0)	67,0 (60,0–71,0)
ЧСС на максимуме нагрузки, уд. в мин Heart rate at peak exercise, bpm	139,0 (128,0–150,0)	133,0 (121,0–139,0)	126,0 (112,0–135,0)
ФВ ЛЖ в покое, % LV EF at rest, %	61,0 (57,3–67,8)	62,0 (56,0–70,0)	63,5 (56,0–72,0)
ФВ ЛЖ на максимуме нагрузки, % LV EF at peak exercise, %	68,0 (64,0–74,0)	65,0 (60,0–72,0)	62,0 (56,3–71,3)
$\Delta$ ФВ ЛЖ, % $\Delta$ LV EF, %	+7% (+0% ... +19%)	+4% (–8% ... +12%)	+4% (–6% ... +9%)
Боль в грудной клетке при нагрузке, % Chest pain on exertion, %	3 (6)	7 (12)	5 (18)
Возникновение одышки, % Dyspnoea, %	23 (45)	26 (46)	12 (43)
Нарушения ритма сердца при нагрузке, % Arrhythmias during exercise, %	30 (59)	38 (67)	12 (43)
Достижение субмаксимальной ЧСС, % Achievement of submaximal heart rate, %	38 (75)	35 (61)	13 (46)
Средний уровень нагрузки, METS Functional capacity, METS	7,0 (7,0–10,0)	7,0 (6,8–7,0)	4,6 (4,6–7,0)
Время нагрузки, мин Exercise time, min	6,2 (5,0–8,5)	5,7 (4,7–6,7)	4,5 (3,6–5,1)
Положительный результат тредмил-теста, % Positive result of stress ECG, %	5 (10)	9 (16)	10 (36)
Положительный результат стресс-ЭхоКГ, % Positive result of stress Echo, %	3 (6)	9 (16)	10 (36)

Примечание: данные представлены в виде абсолютного числа больных (%), при распределении, отличном от нормального в виде  $Me (Q_1-Q_3)$ . САД – систолическое артериальное давление, ЧСС – частота сердечных сокращений в момент проведения ЭхоКГ, ФВ – фракция выброса. Жирным шрифтом выделены значения показателей со статистически значимым отличием от контрольной группы ( $p < 0,05$ ).

Note: Data are presented as the absolute number of patients (%), as  $Me \pm SD$  for a normal distribution, as  $Me (Q_1-Q_3)$  for a non-normal distribution. SBP – systolic blood pressure, EF – ejection fraction, ECG – electrocardiogram. Bold font indicates the values of parameters with a statistically significant difference from the control group ( $p < 0.05$ ).

**Таблица 3.** Показатели глобальной миокардиальной работы левого желудочка в покое и на максимуме нагрузки и их изменения при проведении стресс-эхокардиографии с физической нагрузкой по группам**Table 3.** Global left ventricular myocardial work indicators at rest and at peak exercise and their changes during exercise stress echocardiography by groups

Показатели Parameters	Пациенты без значимых стенозов коронарных артерий (n = 51) Patients without significant coronary artery lesions (n = 51)	Пациенты с однососудистым поражением коронарных артерий (n = 57) Patients with single-vessel coronary artery disease (n = 57)	Пациенты с многососудистым поражением коронарных артерий (n = 28) Patients with multi-vessel coronary artery disease (n = 28)
ГПСД в покое, % GLS at rest, %	-20,0 (-19,0 ... -22,5)	-20,3 (-18,7 ... -22,3)	-18,5 (-16,9 ... -21,3)
ГПСД на максимуме нагрузки, % GLS at peak exercise, %	-22,6 (-21,4 ... -23,8)	-19,3 (-18,0 ... -21,5)	-17,8 (-15,2 ... -19,2)
$\Delta$ ГПСД, % $\Delta$ GLS, %	+5% (-2% ... +16%)	-2% (-11% ... +8%)	-1% (-16% ... +1%)
ГWI в покое, мм рт. ст. $\times$ % GWI at rest, mmHg%	2083,8 $\pm$ 293,4	2026,1 $\pm$ 326,5	1755,3 $\pm$ 238,0
ГWI на максимуме нагрузки, мм рт. ст. $\times$ % GWI at peak exercise, mmHg%	3117,8 $\pm$ 487,7	2663,7 $\pm$ 667,1	2148,2 $\pm$ 599,2
$\Delta$ ГWI, %	+49% (+33% ... +67%)	+26% (+11% ... +44%)	+24% (+1% ... +53%)
GCW в покое, мм рт. ст. $\times$ % GCW at rest, mmHg%	2322,9 $\pm$ 282,6	2326,7 $\pm$ 399,2	2049,2 $\pm$ 245,9
GCW на максимуме нагрузки, мм рт. ст. $\times$ % GCW at peak exercise, mmHg%	3690,8 $\pm$ 579,4	3213,4 $\pm$ 640,9	2659,9 $\pm$ 556,7
$\Delta$ GCW, %	+60% (+46% ... +79%)	+35% (+26% ... +50%)	+25% (+18% ... +56%)
GWW в покое, мм рт. ст. $\times$ % GWW at rest, mmHg%	67,0 (46,0 ... 92,7)	73,5 (52,5 ... 165,0)	97,0 (66,0 ... 127,0)
GWW на максимуме нагрузки, мм рт. ст. $\times$ % GWW at peak exercise, mmHg%	173,5 (99,0 ... 275,0)	250,0 (133,0 ... 388,5)	194,0 (113,7 ... 336,0)
$\Delta$ GWW, %	+155% (+83% ... +265%)	+143% (+23% ... +261%)	+63% (-18% ... +200%)
GWE в покое, % GWE at rest, %	96,0 (95,0 ... 97,0)	95,0 (92,5 ... 97,0)	95,0 (92,0 ... 96,0)
GWE на максимуме нагрузки, % GWE at peak exercise, %	94,0 (93,0 ... 97,0)	91,0 (89,0 ... 95,0)	92,0 (84,5 ... 95,5)
$\Delta$ GWE, %	-1% (-3% ... +0%)	-2% (-6% ... +0%)	-2% (-5% ... +1%)

Примечание: данные представлены при нормальном распределении в виде  $M \pm SD$ , при распределении, отличном от нормального в виде  $Me (Q_1-Q_3)$ . ГПСД – глобальная продольная систолическая деформация, GWI – индекс глобальной миокардиальной работы ЛЖ, GCW – глобальная конструктивная работа, GWW – глобальная потерянная работа, GWE – эффективность глобальной миокардиальной работы ЛЖ. Жирным шрифтом выделены значения показателей со статистически значимым отличием от контрольной группы ( $p < 0,05$ ).

Note: data are presented as  $M \pm SD$  for a normal distribution, as  $Me (Q_1-Q_3)$  for a non-normal distribution. GLS – global longitudinal strain, GWI – global myocardial work index, GCW – global constructive work, GWW – global wasted work, GWE – global myocardial work efficiency. Bold font indicates the values of parameters with a statistically significant difference from the control group ( $p < 0.05$ ).

Особенный интерес представляют результаты, полученные в группе пациентов с однососудистым поражением коронарного русла, так как эта группа была максимально сопоставима с контрольной. Значения ГПСД, ФВ ЛЖ, GWI, GCW не отличались в покое от значений показателей у пациентов без значимых стенозов, в то время как медиана GWW была достоверно больше, а медиана рассчитываемого на основе GWW показателя GWE – меньше. На максимуме нагрузки при схожем артериальном давлении (АД) также были достоверно снижены медианы значений исследуемых показателей миокардиальной работы, ФВ ЛЖ, ГПСД. В этой группе пациентов в ответ на нагрузку медиана ГПСД статистически значимо снижалась, а средние значения GWI и GCW возрастали в меньшей степени, чем в контрольной группе.

Для оценки качества диагностических тестов, выявляющих пациентов со значимым поражением КА на основе значений показателей миокардиальной работы ЛЖ, был выполнен ROC-анализ соответствующих моделей парной логистической регрессии. На рисунке 2 приведены

ROC-кривые моделей тестирования многососудистого поражения КА на основе показателей GWI и GCW в покое (А и Б соответственно): для GWI – AUC  $0,69 \pm 0,07$ , предельное значение – 1919 мм рт. ст.  $\times$  %, чувствительность теста – 64%, специфичность – 69%, предсказательная ценность отрицательного результата теста – 82%; для GCW – AUC  $0,66 \pm 0,07$ , предельное значение – 2099 мм рт. ст.  $\times$  %, чувствительность теста – 55%, специфичность – 81%, предсказательная ценность отрицательного результата теста – 81%. Для диагностических тестов любого значимого стенозирования КА (однососудистого или многососудистого) по значениям показателей GWI и GCW на максимуме нагрузки на рис. 2 (В и Г) приведены ROC-кривые соответствующих моделей: для GWI – AUC  $0,79 \pm 0,05$ , предельное значение – 2553 мм рт. ст.  $\times$  %, чувствительность теста – 62%, специфичность – 95%, предсказательная ценность положительного результата теста – 94%; для GCW – AUC  $0,77 \pm 0,05$ , предельное значение – 3405 мм рт. ст.  $\times$  %, чувствительность теста – 78%, специфичность – 68%.

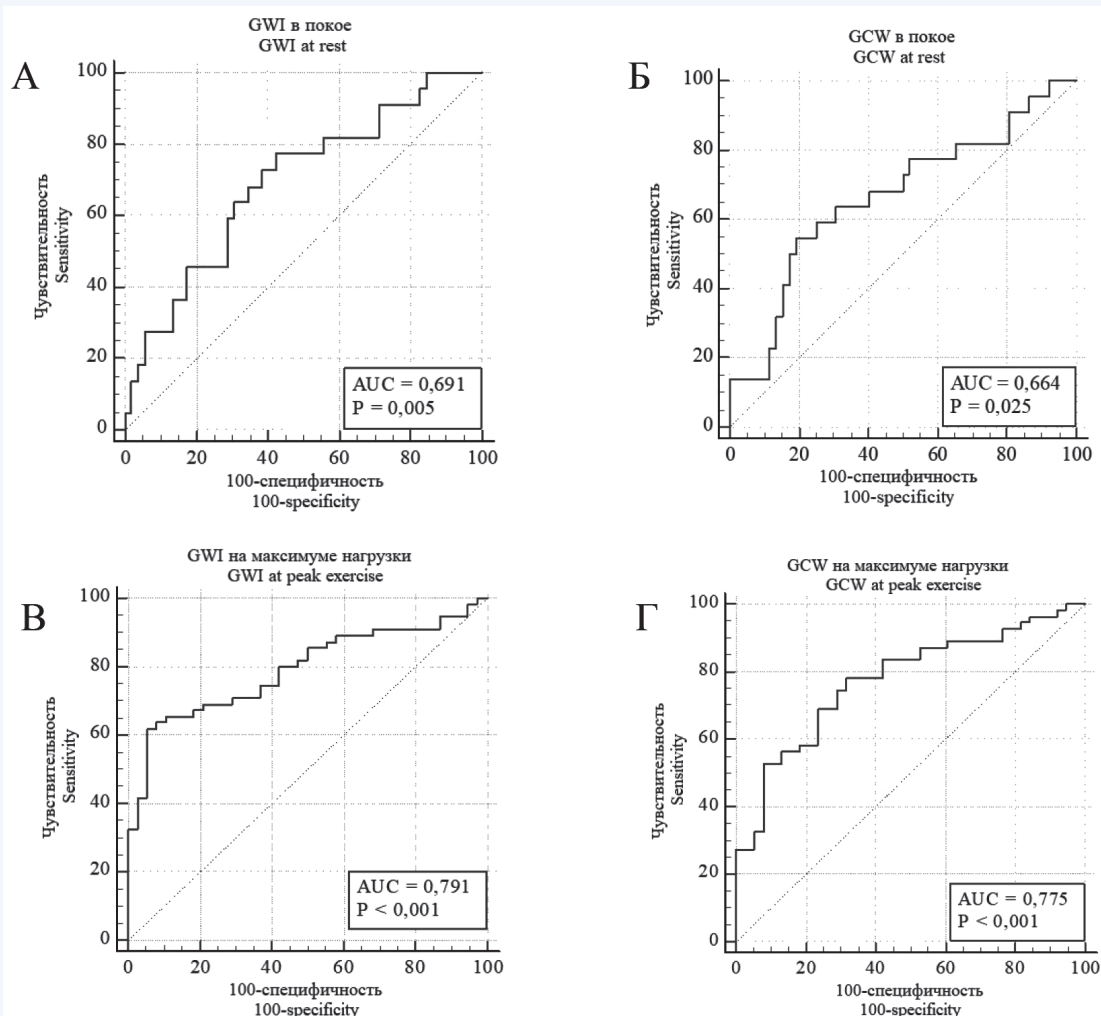


Рис. 2. ROC-кривые, демонстрирующие диагностические возможности показателей глобальной миокардиальной работы левого желудочка при стресс-эхокардиографии с физической нагрузкой по выявлению пациентов с многососудистым поражением коронарных артерий (А, Б) и с любым значимым поражением коронарного русла (В, Г)

Примечание: GWI – индекс глобальной миокардиальной работы, GCW – глобальная конструктивная работа, AUC – площадь под кривой.

Fig. 2. ROC-curves demonstrating the diagnostic capabilities of global LV myocardial work indicators during exercise stress echocardiography to identify patients with multi-vessel CAD (A, B) and any significant CAD (B, Г)

Note: GWI – global myocardial work index, GCW – global constructive work, AUC – area under curve.

## Обсуждение

К настоящему моменту было представлено несколько исследований по оценке показателей миокардиальной работы ЛЖ путем построения кривых давление-деформация при стресс-ЭхоКГ с физической нагрузкой. M.J. Mansour и соавт. описали изменения показателей при физической нагрузке у 81 пациента без структурных нарушений сердца или ИБС: увеличение GWI с  $1832 \pm 267$  до  $2402 \pm 415$  мм рт. ст.  $\times$  %, GCW с  $2097 \pm 321$  до  $3047 \pm 520$  мм рт. ст.  $\times$  %, GWW с  $49 \pm 35$  до  $120 \pm 90$  мм рт. ст.  $\times$  %, при неизменности GWE –  $97\% \pm 1,9\%$  до и  $95\% \pm 2,7\%$  на максимуме нагрузки [17]. Авторы уделили особое внимание пациентам с гипертонической реакцией АД на нагрузку (систолическое АД САД  $> 180$  мм рт. ст.) – у них было выявлено статистически значимо большее увеличение GWI, GCW и GWW по сравнению с остальными пациентами без изменений ГПСД и GWE и сильная ассоциация с пиковым GWW  $> 96,5$  мм рт. ст.  $\times$  %.

Следует отметить, что в нашем исследовании значения показателей глобальной миокардиальной работы ЛЖ у контрольной группы оказались в целом несколько выше, что может быть обусловлено в среднем более высоким уровнем АД и большим количеством пациентов с гипертонической реакцией АД на нагрузку.

В ранее приведенном исследовании A. Borrie и соавт. продемонстрировали характерные изменения показателей миокардиальной работы ЛЖ у 40 пациентов с отрицательными и у 20 пациентов с положительными пробами по ЭхоКГ-критериям [12]. При отрицательной пробе GWI увеличивался на  $54\% \pm 25\%$  с  $2296 \pm 315$  до  $3523 \pm 651$  мм рт. ст.  $\times$  %, GWE практически не изменялся с  $96 \pm 2,2\%$  до  $95 \pm 2,35\%$ . Эти данные хорошо соотносятся с полученными нами результатами для контрольной группы.

N.F.A. Edwards с соавт. посвятили целую серию работ изучению показателей миокардиальной работы ЛЖ у пациентов со стабильной ИБС с нормальной ФВ и без НЛС в покое. В первом исследовании у 31 пациента с од-



нососудистым поражением КА GWI и GCW в покое были достоверно меньше, чем в контрольной группе и имели значения  $1810 \pm 351$  и  $2151 \pm 432$  мм рт. ст.  $\times$  % соответственно [9]. У 50 пациентов с многососудистым поражением были значимо меньше GWI, GCW и ГПСД в покое –  $1823 \pm 365$  мм рт. ст.  $\times$  %,  $2152 \pm 427$  мм рт. ст.  $\times$  % и  $16,9 \pm 2,7\%$  соответственно. При этом в отличие от наших результатов GWE и GWW не были значимо изменены в обеих группах. При ROC-анализе GWI в покое являлся наиболее сильным предиктором наличия значимого стенозирования коронарного русла (AUC  $0,79 \pm 0,05$ ), превосходя в этом ГПСД, с чувствительностью 92% и специфичностью 51% для порогового значения  $1810$  мм рт. ст.  $\times$  % [9]. Для GWE в покое было получено пороговое значение 93,5% с чувствительностью 89% и специфичностью 68% (AUC  $0,65 \pm 0,06$ ). Лучшая предсказательная ценность показателей глобальной миокардиальной работы при сравнении с нашими данными, возможно, связана с большим количеством пациентов в группе многососудистого поражения КА и, соответственно, более низкими полученными значениями показателей.

Прилагая оценку показателей миокардиальной работы ЛЖ к интерпретации результатов стресс-ЭхоКГ с физической нагрузкой, N.F.A. Edwards и соавт. выявили статистически значимо низкие значения GWI ( $1544 \pm 354$  мм рт. ст.  $\times$  %), GCW ( $1881 \pm 390$  мм рт. ст.  $\times$  %) и GWE ( $94 \pm 3\%$ ) и высокие значения GWW ( $113 \pm 87$  мм рт. ст.  $\times$  %) в покое у 40 пациентов с истинно-положительным (подтвержденным наличием стенозов КА по данным КАГ) результатом ЭхоКГ-пробы в отличие от 193 пациентов с отрицательной и 39 с ложно-положительной пробами [11]. Эти результаты согласуются с полученными в нашем исследовании у пациентов с многососудистым поражением КА. Значения GWI  $\leq 1391$  мм рт. ст.  $\times$  % предсказывали истинно-положительную пробу с чувствительностью 94% и специфичностью 73% (AUC  $0,73$ ). Существенным ограничением данного исследования и отличием от нашего было выполнение КАГ только пациентам с положительной нагрузочной пробой. Продолжив изучение применения показателей миокардиальной работы ЛЖ при стресс-ЭхоКГ, те же авторы продемонстрировали различия в изменениях показателей в ответ на нагрузку у пациентов со значимым поражением коронарного русла и у пациентов с отрицательной нагрузочной пробой:  $\Delta$ GWI составило  $-8,6 \pm 511$  мм рт. ст.  $\times$  % против  $398 \pm 404$  мм рт. ст.  $\times$  %;  $\Delta$ GCW  $208 \pm 550$  мм рт. ст.  $\times$  % против  $818 \pm 457$  мм рт. ст.  $\times$  %;  $\Delta$ GWE  $-7,6 \pm 6,6\%$  против  $-4,8 \pm 4,5\%$  [18].

Нами были получены аналогичные результаты (см. табл. 3) за исключением того, что значения GWI в ответ на нагрузку в обеих группах с поражением КА возрастали. Очевидно, что различия обусловлены разным принципом распределения пациентов по группам – в зависимости от данных КАГ или результатов стресс-ЭхоКГ. Трудность в сопоставлении данных заключается еще в том, что в исследовании N.F.A. Edwards и соавт. изменения показателей в ответ на нагрузку выражены в абсолютных значениях, в то время как в нашем – в процентах.

J. Zhang и соавт. представили схожие с нашими результаты в исследовании по оценке диагностической значимости показателей миокардиальной работы ЛЖ в выявлении пациентов со стабильной ИБС высокого риска (иными словами, многососудистым поражением коронарного русла) [19]. У 30 пациентов с однососудистым и 57 с многососудистым поражением КА в покое были достоверно ниже значения ГПСД, GWI и GCW ( $-20,1 \pm 2,37\%$ ,  $2070 \pm 314$  мм рт. ст.  $\times$  %,  $2385 \pm 309$  мм рт. ст.  $\times$  % и  $-18,35 \pm 2,51\%$ ,  $1752 \pm 341$  мм рт. ст.  $\times$  %,  $2038 \pm 370$  мм рт. ст.  $\times$  % соответственно) при сравнении с контрольной группой ( $-20,65 \pm 2,43\%$ ,  $2142 \pm 303$  мм рт. ст.  $\times$  %,  $2447 \pm 352$  мм рт. ст.  $\times$  %), но GWW и GWE достоверно не различались.

При ROC-анализе также были получены подобные нашим результаты: для прогнозирования наличия многососудистого поражения КА найдены пороговые значения в покое у GWI  $1808$  мм рт. ст.  $\times$  % (AUC  $0,77 \pm 0,04$ ) с чувствительностью 53% и специфичностью 88% с предсказательной ценностью положительного результата 76% и у GCW  $2308$  мм рт. ст.  $\times$  % (AUC  $0,78 \pm 0,04$ ) с чувствительностью 81% и специфичностью 65% с предсказательной ценностью отрицательного результата 80%.

К ограничениям настоящего исследования относятся малая выборка пациентов, особенно в группе с многососудистым поражением коронарного русла. Также у трети пациентов этой группы и нескольких пациентов с однососудистым поражением был получен положительный результат нагрузочной пробы по ЭхоКГ-критериям ишемии, то есть были зарегистрированы НЛС при нагрузке. Известно, что НЛС сопровождаются снижением ГПСД и, соответственно, показателей глобальной миокардиальной работы ЛЖ (GWI, GCW, GWE) [7, 11], что могло отразиться на результатах исследования.

Не учитывались различия в изменениях показателей миокардиальной работы ЛЖ у пациентов с нормальной и гипертонической реакцией АД на нагрузку. Также не проводилось сравнения диагностической ценности показателей миокардиальной работы и продольной систолической деформации ЛЖ в выявлении пациентов со значимым поражением КА.

## Заключение

Оценка показателей глобальной миокардиальной работы ЛЖ с помощью построения кривых давление-деформация может быть использована в диагностике стабильной ИБС для более точного выявления пациентов, нуждающихся в проведении коронарного вмешательства. Оценка миокардиальной работы ЛЖ на максимуме нагрузки при проведении стресс-ЭхоКГ более чувствительна к ишемическим изменениям миокарда и позволяет заподозрить наличие у пациента поражения даже одной крупной КА. В качестве надежных дополнительных инструментов для использования в клинической практике с целью диагностики ранних ишемических проявлений при стресс-ЭхоКГ с физической нагрузкой могут служить индекс глобальной миокардиальной работы ЛЖ и глобальная конструктивная работа.

## Литература / References

- Cameli M., Mandoli G.E., Sciacaluga C., Mondillo S. More than 10 years of speckle tracking echocardiography: Still a novel technique or a definite tool for clinical practice? *Echocardiography*. 2019;36(5):958–970. DOI: 10.1111/echo.14339.

- Choi J.O., Cho S.W., Song Y.B., Cho S.J., Song B.G., Lee S.C. et al. Longitudinal 2D strain at rest predicts the presence of left main and three vessel coronary artery disease in patients without regional wall motion abnormality. *Eur. J. Echocardiogr.* 2009;10(5):695–701. DOI: 10.1093/ejehocardiography/ejp041.
- Smiseth O.A., Torp H., Opdahl A., Haugaa K.H., Urheim S. Myocardial

- strain imaging: how useful is it in clinical decision making? *Eur. Heart J.* 2016;37(15):1196–1207. DOI: 10.1093/eurheartj/ehv529.
4. Yingchoncharoen T., Agarwal S., Popović Z.B., Marwick T.H. Normal ranges of left ventricular strain: a meta-analysis. *J. Am. Soc. Echocardiogr.* 2013;26(2):185–191. DOI: 10.1016/j.echo.2012.10.008.
  5. Russell K., Eriksen M., Aaberge L., Wilhelmsen N., Skulstad H., Remme E.W. et al. A novel clinical method for quantification of regional left ventricular pressure-strain loop area: a non-invasive index of myocardial work. *Eur. Heart J.* 2012;33(6):724–733. DOI: 10.1093/eurheartj/ehs016.
  6. Ilardi F., D'Andrea A., D'Ascenzi F., Bandera F., Benfari G., Esposito R. et al. Myocardial work by echocardiography: principles and applications in clinical practice. *J. Clin. Med.* 2021;10(19):4521. DOI: 10.3390/jcm10194521.
  7. Boe E., Russell K., Eek C., Eriksen M., Remme E.W., Smiseth O.A. et al. Non-invasive myocardial work index identifies acute coronary occlusion in patients with non-ST-segment elevation-acute coronary syndrome. *Eur. Heart J. Cardiovasc. Imaging.* 2015;16(11):1247–1255. DOI: 10.1093/ehjci/jev078.
  8. Butcher S.C., Lustosa R.P., Abou R., Marsan N.A., Bax J.J., Delgado V. Prognostic implications of left ventricular myocardial work index in patients with ST-segment elevation myocardial infarction and reduced left ventricular ejection fraction. *Eur. Heart J. Cardiovasc. Imaging.* 2022;23(5):699–707. DOI: 10.1093/ehjci/jeab096.
  9. Edwards N.F.A., Scalia G.M., Shiino K., Sabapathy S., Anderson B., Chamberlain R. et al. Global myocardial work is superior to global longitudinal strain to predict significant coronary artery disease in patients with normal left ventricular function and wall motion. *J. Am. Soc. Echocardiogr.* 2019;32(8):947–957. DOI: 10.1016/j.echo.2019.02.014.
  10. Sabatino J., De Rosa S., Leo I., Strangio A., Spaccarotella C., Polimeni A. et al. Prediction of significant coronary artery disease through advanced echocardiography: Role of non-invasive myocardial work. *Front. Cardiovasc. Med.* 2021;8:719603. DOI: 10.3389/fcvm.2021.719603.
  11. Edwards N.F.A., Scalia G.M., Sabapathy S., Anderson B., Chamberlain R., Khandheria B.K. et al. Resting global myocardial work can improve interpretation of exercise stress echocardiography. *Int. J. Cardiovasc. Imaging.* 2021;37(8):2409–2417. DOI: 10.1007/s10554-021-02216-0.
  12. Borrie A., Goggin C., Ershad S., Robinson W., Sasse A. Noninvasive myocardial work index: Characterizing the normal and ischemic response to exercise. *J. Am. Soc. Echocardiogr.* 2020;33(10):1191–1200. DOI: 10.1016/j.echo.2020.05.003.
  13. Sabatino J., De Rosa S., Leo I., Spaccarotella C., Mongiardo A., Polimeni A. et al. Non-invasive myocardial work is reduced during transient acute coronary occlusion. *PLoS One.* 2020;15(12):e0244397. DOI: 10.1371/journal.pone.0244397.
  14. Patel M.R., Calhoun J.H., Dehmer G.J., Grantham J.A., Maddox T.M., Maron D.J. et al. ACC/AATS/AHA/ASE/ASNC/SCAI/SCCT/STS 2017 Appropriate use criteria for coronary revascularization in patients with stable ischemic heart disease: A Report of the American College of Cardiology Appropriate Use Criteria Task Force, American Association for Thoracic Surgery, American Heart Association, American Society of Echocardiography, American Society of Nuclear Cardiology, Society for Cardiovascular Angiography and Interventions, Society of Cardiovascular Computed Tomography, and Society of Thoracic Surgeons. *J. Am. Coll. Cardiol.* 2017;69(17):2212–2241. DOI: 10.1016/j.jacc.2017.02.001.
  15. Lang R.M., Badano L.P., Mor-Avi V., Afila 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. *J. Am. Soc. Echocardiogr.* 2015;28(1):1–39.e14. DOI: 10.1016/j.echo.2014.10.003.
  16. Pellikka P.A., Arruda-Olson A., Chaudhry F.A., Chen M.H., Marshall J.E., Porter T.R. et al. Guidelines for performance, interpretation, and application of stress echocardiography in ischemic heart disease: From the American Society of Echocardiography. *J. Am. Soc. Echocardiogr.* 2020;33(1):1–41.e8. DOI: 10.1016/j.echo.2019.07.001.
  17. Mansour M.J., Al Jaroudi W., Mansour L., Nehme A., Hamoui O., Ayoub W. et al. Value of myocardial work for assessment of myocardial adaptation to increased afterload in patients with high blood pressure at peak exercise. *Int. J. Cardiovasc. Imaging.* 2020;36(9):1647–1656. DOI: 10.1007/s10554-020-01867-9.
  18. Edwards N.F.A., Scalia G.M., Putrino A., Appadurai V., Sabapathy S., Anderson B. et al. Myocardial work and left ventricular contractile reserve during stress echocardiography: An angiographic validation. *Echocardiography.* 2021;38(10):1711–1721. DOI: 10.1111/echo.15194.
  19. Zhang J., Liu Y., Deng Y., Zhu Y., Sun R., Lu S. Non-invasive global and regional myocardial work predicts high-risk stable coronary artery disease patients with normal segmental wall motion and left ventricular function. *Front. Cardiovasc. Med.* 2021;8:711547. DOI: 10.3389/fcvm.2021.711547.

## Информация о вкладе авторов

Алехин М.Н. участвовал в разработке концепции и структуры статьи, редактировании текста, участвовал в проведении инструментальных исследований (трансторакальной эхокардиографии и стресс-эхокардиографии с физической нагрузкой), утвердил окончательную версию статьи для публикации, несет полную ответственность за содержание.

Иванов С.И. производил отбор пациентов для включения в исследование, анализ клинико-анамнестических данных, участвовал в проведении инструментальных исследований (трансторакальной эхокардиографии и стресс-эхокардиографии с физической нагрузкой), оценивал показатели миокардиальной работы ЛЖ с помощью методики построения кривых давление-деформация, проводил статистическую обработку полученных данных, участвовал в разработке структуры статьи, написании и редактировании текста, подготовке окончательной версии текста, предложил и скомпоновал иллюстративный материал, несет полную ответственность за содержание.

Радова Н.Ф. участвовала в разработке структуры статьи, редактировании текста, участвовала в проведении инструментальных исследований (трансторакальной эхокардиографии и стресс-эхокардиографии с физической нагрузкой), подготовке окончательной версии текста, несет полную ответственность за содержание.

## Information on author contributions

Alekhin M.N. participated in the development of the concept and structure of the article, edited the text, participated in instrumental studies (transthoracic echocardiography and exercise stress echocardiography), approved the final version of the article for publication, takes full responsibility for the content.

Ivanov S.I. selected patients for the study, analyzed clinical and anamnestic data, participated in instrumental studies (transthoracic echocardiography and exercise stress echocardiography), evaluated LV myocardial work indicators using the technique of constructing pressure-strain loops, performed statistical analysis of the obtained results, participated in the development of the structure of the article, wrote and edited the text, prepared the final version of the text, proposed and created figures, takes full responsibility for the content.

Radova N.F. participated in the development of the article structure, edited the text, participated in instrumental studies (transthoracic echocardiography and exercise stress echocardiography), prepared the final version of the text, takes full responsibility for the content.

## Сведения об авторах

**Алехин Михаил Николаевич**, д-р мед. наук, заслуженный врач Российской Федерации, профессор кафедры терапии, кардиологии и функциональной диагностики с курсом нефрологии, Центральная государственная медицинская академия Управления делами Президента Российской Федерации; заведующий отделением функциональной диагностики, Центральная клиническая больница с поликлиникой Управления делами Президента Российской Федерации. ORCID 0000-0002-9725-7528.

E-mail: [amn@mail.ru](mailto:amn@mail.ru).

## Information about authors

**Mikhail N. Alekhin**, Dr. Sci. (Med.), Honored Doctor of the Russian Federation, Professor, Department of Therapy, Cardiology and Functional Diagnostics with Nephrology Course, Central State Medical Academy of Department of Presidential Affairs of the Russian Federation; Head of Functional Diagnostics Department, Central Clinical Hospital of the Management Affair of the President of the Russian Federation. ORCID 0000-0002-9725-7528.

E-mail: [amn@mail.ru](mailto:amn@mail.ru).

**Иванов Сергей Игоревич**, аспирант, кафедра терапии, кардиологии и функциональной диагностики с курсом нефрологии, Центральная государственная медицинская академия Управления делами Президента Российской Федерации. ORCID 0000-0002-6768-1045.

E-mail: [1539ivanov@mail.ru](mailto:1539ivanov@mail.ru).

**Радова Наталья Федоровна**, канд. мед. наук, доцент кафедры терапии, кардиологии и функциональной диагностики с курсом нефрологии, Центральная государственная медицинская академия Управления делами Президента Российской Федерации; врач отделения функциональной диагностики, Центральная клиническая больница с поликлиникой Управления делами Президента Российской Федерации. ORCID 0000-0001-8085-3166.

E-mail: [radova.natalia@yandex.ru](mailto:radova.natalia@yandex.ru).



**Иванов Сергей Игоревич**, e-mail: [1539ivanov@mail.ru](mailto:1539ivanov@mail.ru).

**Sergey I. Ivanov**, Graduate Student, Department of Therapy, Cardiology and Functional Diagnostics with Nephrology Course, Central State Medical Academy of Department of Presidential Affairs of the Russian Federation. ORCID 0000-0002-6768-1045.

E-mail: [1539ivanov@mail.ru](mailto:1539ivanov@mail.ru).

**Natalya F. Radova**, Associate Professor, Department of Therapy, Cardiology and Functional Diagnostics with Nephrology Course, Central State Medical Academy of Department of Presidential Affairs of the Russian Federation; Doctor, Functional Diagnostics Department, Central Clinical Hospital of the Management Affairs of the President of the Russian Federation. ORCID 0000-0001-8085-3166

E-mail: [radova.natalia@yandex.ru](mailto:radova.natalia@yandex.ru).



**Sergey I. Ivanov**, e-mail: [1539ivanov@mail.ru](mailto:1539ivanov@mail.ru).

Поступила 09.11.2022

Received November 9, 2022