

# Показатели работы миокарда левого желудочка у пациентов с отрицательным результатом пробы при стресс-эхокардиографии с физической нагрузкой

М.Н. Алёхин<sup>✉1,2</sup>, Н.Ф. Радова<sup>1,2</sup>, С.П. Лешинская<sup>3</sup>, С.И. Иванов<sup>4</sup>

<sup>1</sup>ФГБУ ДПО «Центральная государственная медицинская академия» Управления делами Президента РФ, Москва, Россия;

<sup>2</sup>ФГБУ «Центральная клиническая больница с поликлиникой» Управления делами Президента РФ, Москва, Россия;

<sup>3</sup>ФГБОУ ВО «Российский университет медицины» Минздрава России, Москва, Россия;

<sup>4</sup>ФГБУ «Клиническая больница» Управления делами Президента РФ, Москва, Россия

## Аннотация

**Цель.** Определить возможности выявления пациентов со значимым поражением коронарного русла с помощью оценки показателей работы миокарда левого желудочка (ЛЖ), несмотря на полученный отрицательный результат пробы при стресс-эхокардиографии (стресс-ЭхоКГ) с физической нагрузкой.

**Материалы и методы.** В исследование включены 79 пациентов с предполагаемой или подтвержденной ранее ишемической болезнью сердца, из них 47 мужчин (59%), у которых получен отрицательный результат пробы при проведении стресс-ЭхоКГ с физической нагрузкой с использованием тредмила. С помощью методики построения кривых «давление–деформация» в покое и на максимуме нагрузки рассчитывали индекс глобальной работы (GWI), глобальную конструктивную работу (GCW), глобальную потерянную работу, эффективность глобальной работы (GWE).

**Результаты.** При схожих систолическом артериальном давлении и фракции выброса ЛЖ между контрольной группой и группой пациентов с однососудистым поражением коронарных артерий на максимуме нагрузки выявлена достоверная разница в GWI, GCW и GWE. У пациентов с многососудистым поражением коронарных артерий GWI и GCW на максимуме нагрузки также значительно отличались от контрольной группы.

**Заключение.** При проведении стресс-ЭхоКГ с физической нагрузкой с получением отрицательного или недостоверного результата пробы может быть рекомендована оценка показателей работы миокарда ЛЖ для более точной диагностики ишемической болезни сердца.

**Ключевые слова:** работа миокарда, кривая «давление–деформация», ишемическая болезнь сердца, отрицательная проба, стресс-эхокардиография

**Для цитирования:** Алёхин М.Н., Радова Н.Ф., Лешинская С.П., Иванов С.И. Показатели работы миокарда левого желудочка у пациентов с отрицательным результатом пробы при стресс-эхокардиографии с физической нагрузкой. Терапевтический архив. 2024;96(4):349–355. DOI: 10.26442/00403660.2024.04.202681

© ООО «КОНСИЛИУМ МЕДИКУМ», 2024 г.

ORIGINAL ARTICLE

## Performance of the left ventricular myocardium in patients with a negative test result during exercise stress echocardiography

Mikhail N. Alekhin<sup>✉1,2</sup>, Natalya F. Radova<sup>1,2</sup>, Svetlana P. Leshchinskaia<sup>3</sup>, Sergey I. Ivanov<sup>4</sup>

<sup>1</sup>Central State Medical Academy of the President of the Russian Federation, Moscow, Russia;

<sup>2</sup>Central Clinical Hospital with Clinic of the President of the Russian Federation, Moscow, Russia;

<sup>3</sup>Russian University of Medicine, Moscow, Russia;

<sup>4</sup>Clinical Hospital of the President of the Russian Federation, Moscow, Russia

## Abstract

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

**Materials and methods.** The study included 79 patients with suspected or previously confirmed CAD, of which 47 (59%) men, who had a negative test result during exercise stress echocardiography on the treadmill. Global work index (GWI), global constructive work (GCW), global wasted work (GWW) and global work efficiency (GWE) were evaluated using the technique of constructing pressure-strain loops at rest and at peak exercise.

**Results.** With similar systolic blood pressure and LV ejection fraction at peak exercise between the control group and the group of patients with single-vessel CAD, there was revealed significant difference in GWI, GCW and GWE at peak exercise. In patients with multi-vessel CAD, GWI and GCW also significantly differed from the control group at peak exercise.

**Conclusion.** The evaluation of LV myocardial work indicators may be recommended for a more accurate diagnosis of CAD in negative or unreliable test results during exercise stress echocardiography.

**Keywords:** myocardial work, pressure-strain loop, coronary artery disease, negative test, stress echocardiography

**For citation:** Alekhin MN, Radova NF, Leshchinskaia SP, Ivanov SI. Performance of the left ventricular myocardium in patients with a negative test result during exercise stress echocardiography. Terapevticheskii Arkhiv (Ter. Arkh.). 2024;96(4):349–355. DOI: 10.26442/00403660.2024.04.202681

## Информация об авторах / Information about the authors

✉ Алёхин Михаил Николаевич – д-р мед. наук, проф. каф. терапии, кардиологии и функциональной диагностики с курсом нефрологии ФГБУ ДПО ЦГМА УД Президента РФ, зав. отд-нием функциональной диагностики ФГБУ «ЦКБ с поликлиникой». E-mail: mike.nikolaich@yandex.ru

✉ Mikhail N. Alekhin. E-mail: mike.nikolaich@yandex.ru; ORCID: 0000-0002-9725-7528

## Введение

Оценка показателей работы миокарда (РМ) левого желудочка (ЛЖ) путем построения кривых «давление–деформация» – это новая перспективная эхокардиографическая методика количественной оценки систолической функции сердца, основанная на расчете глобальной продольной систолической деформации (ГПСД) с помощью технологии спекл-трекинг и измерения периферического артериального давления (АД) в плечевой артерии [1], главное достоинство которой состоит в учете влияния постнагрузки сердца на сократимость ЛЖ [2]. В ранее проведенных исследованиях показана возможная польза от использования оценки показателей РМ ЛЖ в диагностике ишемической болезни сердца (ИБС) [3, 4]. Особенно интересны работы по применению методики оценки РМ ЛЖ при проведении стресс-эхокардиографии (стресс-ЭхоКГ), одного из самых доступных визуализирующих методов диагностики ИБС [5], когда возможно оценить показатели РМ как в покое, так и в условиях увеличенной постнагрузки сердца [6].

Известно, что при возникновении нарушений локальной сократимости (НЛС) ЛЖ, т.е. при положительной пробе по ЭхоКГ-критериям ишемии, показатели деформации и РМ ЛЖ закономерно снижаются в ишемизированных сегментах, что в свою очередь может вызвать снижение соответствующих глобальных показателей [7]. Недостижение пациентом субмаксимальной частоты сердечных сокращений (ЧСС), т.е. недостоверный результат нагрузочной пробы, может вызываться различными причинами: низкая тренированность, усталость, возникновение болей в суставах и т.д. [8]. Также более низкие значения показателей РМ при недостоверном результате пробы могут обуславливаться полученным меньшим систолическим АД (САД) при меньшем уровне выполненной нагрузки. В связи со всем этим актуальным представляется исследование показателей РМ ЛЖ у пациентов, показавших отрицательный результат пробы при проведении стресс-ЭхоКГ.

**Цель исследования** – определить возможности выявления пациентов со значимым поражением коронарного русла с помощью оценки показателей РМ ЛЖ путем построения кривых «давление–деформация», несмотря на полученный отрицательный результат пробы при стресс-ЭхоКГ с физической нагрузкой.

## Материалы и методы

В исследование включены 79 пациентов в возрасте от 30 до 83 лет, из них 47 (59%) мужчин, проходивших стационарное лечение в ФГБУ «ЦКБ с поликлиникой» в период с сентября 2019 по март 2021 г. Критериями включения в исследование стали 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; фракция выброса (ФВ) ЛЖ в покое  $\geq 50\%$ , отсутствие НЛС ЛЖ в покое по данным трансторакальной ЭхоКГ; оптимальная визуализация ЛЖ, отрицательный результат нагрузочной пробы по ЭхоКГ-критериям ишемии

при проведении стресс-ЭхоКГ с физической нагрузкой; добровольное информированное согласие пациента на участие в исследовании. Протокол исследования одобрен локальным этическим комитетом ФГБУ ДПО ЦГМА УД Президента РФ (протокол №12/2019 от 17.09.2019).

У всех пациентов оценивались данные анамнеза и медицинской документации, проводились инструментальные исследования: регистрация и оценка электрокардиограммы, трансторакальная ЭхоКГ, стресс-ЭхоКГ с физической нагрузкой на тредмиле, инвазивная селективная КАГ по методу Judkins. Пациенты направлялись на КАГ, несмотря на получение отрицательного результата стресс-ЭхоКГ, в связи с высоким риском наличия значимого поражения коронарных артерий (КА) по мнению лечащих врачей и в связи с высокими значениями предтестовой вероятности наличия ИБС. По результатам КАГ пациенты разделены на 3 группы: 35 пациентов без значимого стенозирования КА (контрольная группа); 32 пациента со значимым стенозом в одной из трех крупных эпикардиальных КА; 12 пациентов с многосудистым поражением коронарного русла (у них выявлены значимые стенозы или окклюзии двух или трех крупных КА, в том числе стеноз  $\geq 50\%$  ствола левой КА). Под значимым стенозом подразумевалось сужение  $\geq 75\%$  просвета артерии или ее крупной ветви [9].

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 (ММ) [10]. 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 электрокардиограммы и ЧСС в покое и во время нагрузки, АД измерялось вручную сфигмоманометром в плечевой артерии [11]. Использовали двухэтапный протокол стресс-ЭхоКГ с регистрацией данных в исходном состоянии и сразу после прекращения нагрузки на тредмиле.

Наряду с визуальной оценкой сократимости ЛЖ при ЭхоКГ-исследовании в исходном состоянии и сразу после прекращения нагрузки на тредмиле для расчета показателей РМ ЛЖ оценивали ГПСД с помощью технологии спекл-трекинг, 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» офлайн рассчитывали показатели глобальной РМ ЛЖ в покое и на максимуме нагрузки:

- 1) индекс глобальной РМ (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

## Информация об авторах / Information about the authors

**Радова Наталья Федоровна** – канд. мед. наук, доц. каф. терапии, кардиологии и функциональной диагностики с курсом нефрологии ФГБУ ДПО ЦГМА УД Президента РФ, врач отделения функциональной диагностики ФГБУ «ЦКБ с поликлиникой»

**Лешинская Светлана Павловна** – студентка ФГБОУ ВО «Российский университет медицины»

**Иванов Сергей Игоревич** – канд. мед. наук, врач отделения кардиологии ФГБУ КБ

**Natalya F. Radova.** ORCID: 0000-0001-8085-3166

**Svetlana P. Leshchinskaia.** ORCID: 0009-0004-4482-990X

**Sergey I. Ivanov.** ORCID: 0000-0002-6768-1045

**Таблица 1. Клиническая характеристика, данные трансторакальной ЭхоКГ и стресс-ЭхоКГ с физической нагрузкой на тредмиле исследованных пациентов с отрицательным результатом пробы по группам****Table 1. Clinical characteristics, transthoracic echocardiography and treadmill exercise stress echocardiogram (stress-EchoCG) data of the studied patients with a negative test result by groups**

Показатели	Пациенты без значимых стенозов КА (n=35)	Пациенты с однососудистым поражением КА (n=32)	Пациенты с многососудистым поражением КА (n=12)
Мужчины, абс. (%)	18 (51)	19 (59)	10 (83)
Возраст, лет	53,0±10,6	64,5±9,7	66,4±7,5
ИМТ, кг/м <sup>2</sup>	25,87 (23,43–29,50)	27,57 (25,75–30,83)	26,00 (24,00–29,75)
ППТ, м <sup>2</sup>	1,93±0,22	1,94±0,19	1,89±0,15
Курение, абс. (%)	14 (40)	14 (44)	6 (50)
Дислипидемия, абс. (%)	20 (57)	24 (75)	10 (83)
Гипертоническая болезнь, абс. (%)	25 (71)	25 (78)	12 (100)
Сахарный диабет, абс. (%)	9 (26)	10 (31)	7 (58)
ИБС, ранее диагностированная, абс. (%)	18 (51)	20 (62)	9 (75)
Инфаркт миокарда в анамнезе, абс. (%)	2 (6)	4 (12)	4 (33)
ЧКВ в анамнезе, абс. (%)	7 (20)	12 (37)	4 (33)
КДР ЛЖ, мм	47,7±3,8	49,2±4,4	48,9±3,7
ММ ЛЖ, г	169,07±41,53	178,59±37,35	181,05±45,90
иММ ЛЖ, г/м <sup>2</sup>	91,38±18,15	96,48±17,86	97,04±20,16
КДО ЛЖ, мл	108,6±23,3	107,2±22,6	104,4±29,0
Е/А	0,98±0,30	0,85±0,33	0,72±0,23
Объем ЛП, мл	55,3±12,3	60,6±15,4	63,7±10,2
САД в покое, мм рт. ст.	125,0 (120,0–130,0)	130,0 (125,0–140,0)	122,5 (120,0–130,0)
САД на максимуме нагрузки, мм рт. ст.	185,0 (170,0–200,0)	175,0 (165,0–190,0)	180,0 (180,0–190,0)
ЧСС в покое, уд./мин	66,0 (60,0–76,0)	64,0 (59,0–72,0)	69,0 (63,5–72,5)
ЧСС на максимуме нагрузки, уд./мин	142,5 (134,0–151,0)	135,0 (127,0–143,0)	134,5 (130,5–145,0)
ФВ ЛЖ в покое, %	62,0 (57,5–67,5)	60,0 (55,0–65,0)	65,5 (59,0–70,0)
ФВ ЛЖ на максимуме нагрузки, %	68,0 (64,0–71,0)	65,0 (63,0–68,0)	63,0 (61,0–67,0)
Средний уровень нагрузки, METS	9,8 (7,0–10,0)	7,0 (7,0–7,1)	7,0 (7,0–7,0)
Время нагрузки, мин	8,0 (5,3–9,1)	5,3 (5,0–7,0)	5,3 (4,5–6,4)

*Примечание.* ИМТ – индекс массы тела, ППТ – площадь поверхности тела, ЧКВ – чрескожное коронарное вмешательство, КДР – конечно-диастолический размер, иММ – индекс ММ, КДО – конечно-диастолический объем, ЛП – левое предсердие. Данные представлены в виде абсолютного числа больных (%), при нормальном распределении – в виде  $M \pm SD$ , при распределении, отличном от нормального, – в виде  $Me (Q1-Q3)$ . Примечания в тексте. Жирным выделены значения показателей со статистически значимым отличием при сравнении с контрольной группой ( $p < 0,05$ ).

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 РМ (GWE) – отношение конструктивной работы к сумме конструктивной и потерянной работ ( $GCV/[GCV + GWW]$ ); измеряется в %) [12].

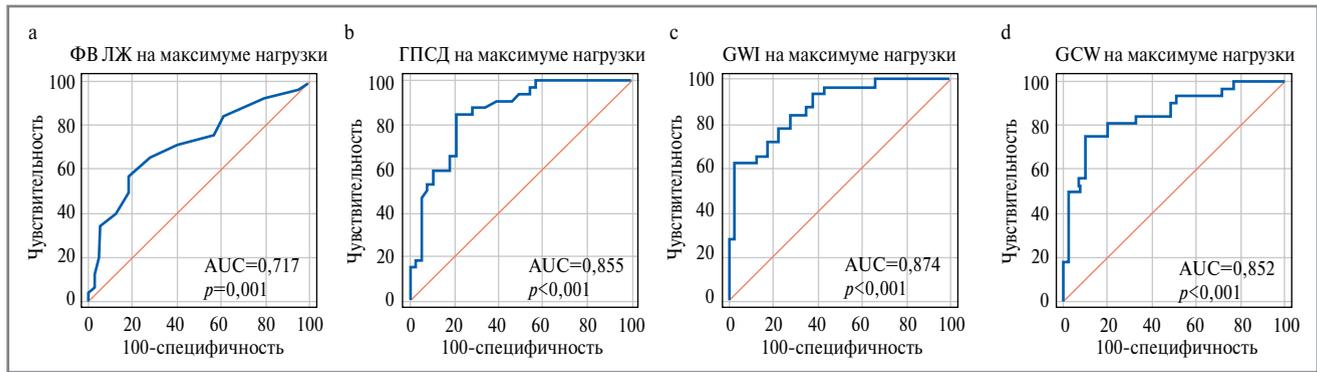
Также рассчитывали изменения ( $\Delta$ ) значений показателей глобальной РМ ЛЖ в ответ на нагрузку, выраженные в процентах.

Статистическая обработка данных проводилась с помощью пакета статистических программ SPSS 23.0. Вид распределения выборок оценивался с помощью критерия Шапиро–Уилка. При нормальном распределении результаты представлены в

виде среднего значения и стандартного отклонения и оценивались с помощью  $t$ -критерия Стьюдента, при ненормальном – в виде медианы, 25 и 75-го перцентиля и оценивались с помощью критерия Манна–Уитни. Категориальные показатели выражались в процентах и сравнивались с помощью  $\chi^2$ -критерия Пирсона. В программе MedCalc проведен ROC-анализ, статистическая разница между ROC-кривыми оценивалась с помощью метода DeLong. Различия признавались достоверными при уровне значимости  $p < 0,05$ . Число исследуемых пациентов, необходимое для включения в исследование, определялось по формулам R. Lehr и M. Bland для средних величин, проведен расчет минимального объема каждой из сравниваемых групп, который составил 25 участников.

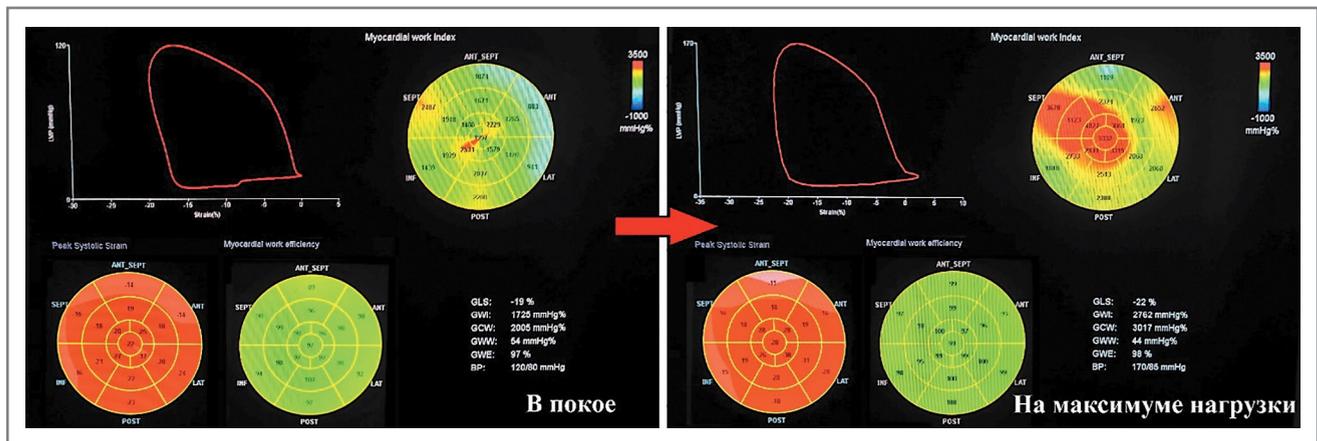
## Результаты

Группы пациентов сопоставимы по антропометрическим показателям, ЭхоКГ-показателям ЛЖ, ММ ЛЖ (табл. 1). Все пациенты с поражением КА оказались досто-



**Рис. 1.** ROC-кривые, демонстрирующие возможности ФВ ЛЖ (а), ГПСД (b), GWI (c) и GCW (d) на максимуме нагрузки в выявлении пациентов с отрицательным результатом пробы и значимым поражением КА.

**Fig. 1.** ROC curves showing the capabilities of the left ventricular ejection fraction (a), global longitudinal systolic deformation (b), left ventricular GWI myocardial index (c), global constructive work (GCW) (d) at the maximum load in identifying patients with a negative test result and significant coronary artery lesion.



**Рис. 2.** Пример оценки показателей РМ ЛЖ в покое и на максимуме нагрузки у пациентки 68 лет с отрицательным результатом пробы при проведении стресс-ЭхоКГ с физической нагрузкой. По данным КАГ – стеноз 85% на границе п/3-с/3 ПМЖВ, стеноз 70% в устье диагональной ветви (артерия малого диаметра), стеноз 80% в с/3 ПКА.

*Примечание.* ПМЖВ – передняя межжелудочковая ветвь, ПКА – правая коронарная артерия.

**Fig. 2.** An example of assessment of the left ventricular myocardium performance at rest and at the maximum load in a 68-year-old patient with a negative test result during an exercise stress-EchoCG. Coronary angiography showed stenosis of 85% at the border of the anterior and middle third of the anterior interventricular branch, stenosis of 70% at the ostium of the diagonal branch (small diameter artery), stenosis of 80% in the middle third of the right coronary artery.

верно старше. Пациенты с многососудистым поражением достоверно чаще страдали гипертонической болезнью, сахарным диабетом, постинфарктным кардиосклерозом.

Показатели САД, толерантности к нагрузке и ФВ ЛЖ в покое не различались между группами пациентов. У пациентов с многососудистым поражением оказалась достоверно ниже ФВ ЛЖ на максимуме нагрузки, также все пациенты с поражением КА показывали меньшее время нагрузки.

Для оценки диагностического значения показателей РМ ЛЖ в выявлении пациентов с отрицательным результатом пробы и значимым поражением КА выполнен ROC-анализ (рис. 1). Для сравнения диагностической возможности выявления любого значимого стенозирования КА также построены ROC-кривые для ФВ ЛЖ и ГПСД на максимуме нагрузки (рис. 1, а, b): площадь под кривой для ФВ ЛЖ составила  $AUC\ 0,72 \pm 0,06$  (95% доверительный интервал – ДИ 0,60–0,82); для ГПСД  $AUC\ 0,85 \pm 0,04$  (95% ДИ 0,75–0,93). Для GWI и GCW на максимуме нагрузки (рис. 1, c, d) получено хорошее качество моделей ( $AUC\ 0,87 \pm 0,04$ ; 95% ДИ 0,77–

0,94 и  $0,85 \pm 0,05$ ; 95% ДИ 0,75–0,92 соответственно) с чувствительностью 62% и специфичностью 97% для значения GWI 2589 мм рт. ст.×% и 75 и 90% соответственно для значения GCW 3223 мм рт. ст.×%. При сравнении ROC-кривых оценка как GWI, так и GCW достоверно превосходила оценку ФВ ЛЖ на максимуме нагрузки в выявлении пациентов с отрицательным результатом пробы и значимым поражением КА ( $p < 0,05$ ), однако при сравнении ROC-кривых GWI и GCW с ROC-кривой ГПСД ЛЖ не получено статистической разницы.

На рис. 2 представлен пример оценки показателей РМ ЛЖ у пациентки с отрицательным результатом пробы при проведении стресс-ЭхоКГ с физической нагрузкой с многососудистым поражением КА по данным КАГ. На диаграммах вида «бычий глаз» отмечается недостаточный прирост индекса региональной РМ и снижение региональной продольной деформации у сегментов ЛЖ, принадлежащих бассейну передней межжелудочковой ветви и правой коронарной артерии (базальные и средние передне-перегородочные, нижние, нижне-боковые).

**Таблица 2. Показатели глобальной РМ ЛЖ в покое и на максимуме нагрузки и их изменения у пациентов с отрицательным результатом пробы при проведении стресс-ЭхоКГ с физической нагрузкой по группам**

Table 2. Indicators of global LV performance at rest and at maximum load and their changes in patients with a negative test result during exercise stress-EchoCG by groups

Показатели	Пациенты без значимых стенозов КА (n=35)	Пациенты с однососудистым поражением КА (n= 32)	Пациенты с многососудистым поражением КА (n=12)
ГПСД в покое, %	-20,0 (-19,0--22,2)	-19,9 (-18,8--21,9)	-19,2 (-17,8--21,8)
ГПСД на максимуме нагрузки, %	-22,3 (-20,2--23,8)	<b>-20,7 (-18,9--21,8)</b>	<b>-19,6 (-18,5--21,9)</b>
ΔГПСД, %	+9 (+0--16)	+3 (-7--8)	+1 (-10--4)
ГWI в покое, мм рт. ст.×%	2036,9±314,8	2023,5±262,4	1963,7±257,3
ГWI на максимуме нагрузки, мм рт. ст.×%	3131,2±443,8	<b>2638,7±511,3</b>	<b>2708,2±546,4</b>
ΔГWI, %	+56 (+35--75)	<b>+29 (+19--38)</b>	<b>+14 (-8--48)</b>
GCW в покое, мм рт. ст.×%	2268,6±320,3	2351,1±329,5	2241,0±322,4
GCW на максимуме нагрузки, мм рт. ст.×%	3758,6±487,4	<b>3150,0±427,7</b>	<b>3216,1±444,5</b>
ΔGCW, %	+64 (+53--81)	<b>+33 (+26--48)</b>	<b>+35 (+16--52)</b>
GWW в покое, мм рт. ст.×%	73,0 (49,5--103,0)	95,0 (66,0--218,0)	83,0 (70,5--111,5)
GWW на максимуме нагрузки, мм рт. ст.×%	179,0 (106,0--332,0)	290,0 (131,0--335,0)	206,0 (113,0--401,0)
ΔGWW, %	+165 (+81--281)	+131 (+79--287)	+203 (+90--336)
GWE в покое, %	96,0 (94,5--97,0)	95,0 (92,0--96,0)	95,5 (92,5--96,5)
GWE на максимуме нагрузки, %	94,0 (92,0--97,0)	<b>92,0 (89,0--95,0)</b>	93,0 (91,0--96,0)
ΔGWE, %	-2 (-4--0)	-3 (-5--1)	-2 (-4--1)

## Обсуждение

К настоящему времени представлено небольшое количество исследований, посвященных возможному применению оценки показателей РМ ЛЖ при стресс-ЭхоКГ с физической нагрузкой. Ни в одном из них не проводилось анализа значений показателей отдельно для группы пациентов с отрицательным результатом пробы в зависимости от наличия значимого поражения коронарного русла. Динамика изменения показателей РМ ЛЖ в ответ на нагрузку, полученная в нашем исследовании у пациентов без значимых стенозов КА, практически совпадает с результатами исследования А. Borgie и соавт., описанными для нормального ответа показателей на нагрузку (т.е. для отрицательной пробы) при стресс-ЭхоКГ с физической нагрузкой [6].

В ряде исследований доказано, что показатели РМ ЛЖ, оцененные в покое, при отсутствии НЛС и сохранной ФВ ЛЖ (>50%) в покое позволяют заподозрить наличие у пациента значимого поражения коронарного русла и тем самым улучшить диагностические возможности стресс-ЭхоКГ [3, 8, 12]. Так N. Edwards и соавт. установили, что наиболее сильными предикторами истинно-положительной пробы при проведении стресс-ЭхоКГ (т.е. положительной пробы с подтвержденным наличием значимых стенозов КА по данным КАГ) являлись GWI (AUC 0,73) и ГПСД (AUC 0,70) в покое [7]. Значения GWI в покое ≤1391 мм рт. ст.×% предсказывали истинно-положительную пробу с чувствительностью 94% и специфичностью 73%. В этом исследовании не получено статистически значимых различий в показателях деформации и РМ ЛЖ в покое между 193 пациентами с отрицательным результатом пробы и 39 пациентами с ложноположительным результатом. Отметим, что ограничением и важным отличием исследования N. Edwards и соавт. от на-

шего являлось выполнение КАГ только пациентам с положительным результатом пробы [7]. В нашем исследовании ГПСД и показатели РМ ЛЖ в покое не различались между группами пациентов без стенозов КА и со значимым поражением КА, что также может быть связано с включением в исследование только пациентов с отрицательным результатом пробы, и в связи с этим, возможно, более тренированных, адаптированных к физической нагрузке пациентов, способных достичь субмаксимальной ЧСС и имеющих более высокие значения показателей РМ ЛЖ изначально.

В другом аналогичном исследовании N. Edwards и соавт. представили вариант определения сократительного резерва с помощью новых показателей и продемонстрировали различия в изменениях значений показателей в ответ на нагрузку у пациентов с положительным результатом пробы и со значимым поражением КА и у пациентов с отрицательной пробой: ΔGWI составило -8,6±511 мм рт. ст.×% против +398±404 мм рт. ст.×%; ΔGCW +208±550 мм рт. ст.×% против +818±457 мм рт. ст.×%; ΔGWE -7,6%±6,6% против -4,8%±4,5% [13]. В нашем исследовании получены схожие результаты (табл. 2) только для групп пациентов с отрицательным результатом пробы. На примере ΔGCW можно отметить, что при оценке глобальных показателей РМ ЛЖ при проведении стресс-ЭхоКГ разница между наличием и отсутствием у пациента значимого поражения КА может заключаться в недостаточном приросте значений показателей.

В исследовании J. Lin и соавт., включившем 85 пациентов со стенокардией напряжения и без ранее диагностированной ИБС в анамнезе, направленных на стресс-ЭхоКГ и КАГ, GWW и GWE на максимуме нагрузки статистически значимо различались между группами пациентов без значимых стенозов КА и со значимым поражением КА и явля-

лись самыми сильными предикторами наличия значимого поражения КА [14]. При ROC-анализе для GWE на максимуме нагрузки получена лучшая площадь под кривой (AUC 0,836) среди всех показателей РМ ЛЖ, а комбинация GWW в восстановительном периоде и GWE на максимуме нагрузки показала еще большую диагностическую значимость в выявлении пациентов со значимыми стенозами КА (AUC 0,856). В нашем исследовании также выявлены статистически значимо сниженные значения эффективности глобальной РМ на максимуме нагрузки у пациентов с односторонним поражением КА (см. табл. 2). Однако при ROC-анализе лучшие модели кривых получены для GWI и GCW на максимуме нагрузки (см. рис. 1).

К ограничениям нашего исследования относятся малая выборка пациентов, особенно в группе с многососудистым поражением КА, неучет реакции АД на нагрузку (возможная разница в числе пациентов с нормальной и гипертонической реакцией АД между группами и связанная с этим различия в значениях показателей РМ ЛЖ). С помощью сравнения ROC-кривых показано преимущество над оценкой ФВ ЛЖ на максимуме нагрузки, однако диагностическая ценность GWI и GCW являлась сопоставимой с ГПСД, так как между этими показателями не выявлено статистических различий.

Из всего изложенного можно сделать вывод, что оценка показателей РМ ЛЖ путем построения кривых «давление-деформация» является дополнительной методикой количественной оценки ишемии миокарда, которая наравне со спекл-трекинг ЭхоКГ может занять свое место в диагностике стабильной ИБС. По нашему мнению, оно обосновано более точным и надежным исключением значимого атеросклеротического поражения коронарного русла при получении нормального прироста значений исследуемых показателей в ответ на нагрузку при отрицательном результате стресс-ЭхоКГ с физической нагрузкой.

## Заключение

При подозрении на наличие у пациента ИБС и проведении стресс-ЭхоКГ с физической нагрузкой с получением отрицательного или недостоверного результата пробы может быть рекомендована оценка показателей РМ ЛЖ с помощью построения кривых «давление-деформация» для более точной диагностики ИБС. При оценке показателей глобальной РМ ЛЖ при проведении стресс-ЭхоКГ

снижение или недостаточный прирост значений индекса глобальной РМ и глобальной конструктивной работы в ответ на нагрузку позволяют заподозрить наличие значимого атеросклеротического поражения КА.

**Раскрытие интересов.** Авторы декларируют отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов, связанных с публикацией настоящей статьи.

**Disclosure of interest.** The authors declare that they have no competing interests.

**Вклад авторов.** Авторы декларируют соответствие своего авторства международным критериям ICMJE. Все авторы в равной степени участвовали в подготовке публикации: разработка концепции статьи, получение и анализ фактических данных, написание и редактирование текста статьи, проверка и утверждение текста статьи.

**Authors' contribution.** The authors declare the compliance of their authorship according to the international ICMJE criteria. All authors made a substantial contribution to the conception of the work, acquisition, analysis, interpretation of data for the work, drafting and revising the work, final approval of the version to be published and agree to be accountable for all aspects of the work.

**Источник финансирования.** Авторы декларируют отсутствие внешнего финансирования для проведения исследования и публикации статьи.

**Funding source.** The authors declare that there is no external funding for the exploration and analysis work.

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

**Consent for publication.** Written consent was obtained from the patients for publication of relevant medical information and all of accompanying images within the manuscript.

**Соответствие принципам этики.** Протокол исследования был одобрен локальным этическим комитетом ФГБУ ДПО ЦГМА УД Президента РФ (протокол №12/2019 от 17.09.2019). Одобрение и процедуру проведения протокола получали по принципам Хельсинкской конвенции.

**Ethics approval.** The study was approved by the local ethics committee of Central State Medical Academy of the President of the Russian Federation (protocol No. 12/2019 of 17.09.2019). The approval and procedure for the protocol were obtained in accordance with the principles of the Helsinki Convention.

## Список сокращений

АД – артериальное давление  
ГПСД – глобальная продольная систолическая деформация  
ДИ – доверительный интервал  
ИБС – ишемическая болезнь сердца  
КА – коронарная артерия  
КАГ – коронароангиография  
ЛЖ – левый желудочек  
ММ – масса миокарда  
НЛС – нарушение локальной сократимости

РМ – работа миокарда  
САД – систолическое артериальное давление  
Стресс-ЭхоКГ – стресс-эхокардиография  
ФВ – фракция выброса  
ЧСС – частота сердечных сокращений  
GCW – глобальная конструктивная работа  
GWE – эффективность глобальной работы миокарда  
GWI – индекс глобальной работы миокарда левого желудочка  
GWW – глобальная потерянная работа

## ЛИТЕРАТУРА/REFERENCES

- Russell K, Eriksen M, Aaberge L, 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):724-33. DOI:10.1093/eurheartj/ehs016
- Ilardi F, D'Andrea A, D'Ascenzi F, et al. Myocardial Work by Echocardiography: Principles and Applications in Clinical Practice. *J Clin Med*. 2021;10(19):4521. DOI:10.3390/jcm10194521
- Sabatino J, De Rosa S, Leo I, 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
- Boe E, Russell K, Eek C, 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):1247-55. DOI:10.1093/ehjci/jev078

5. Российское кардиологическое общество. Стабильная ишемическая болезнь сердца. Клинические рекомендации 2020. *Российский кардиологический журнал*. 2020;25(11):4076 [Russian Society of Cardiology (RSC). 2020 Clinical practice guidelines for Stable coronary artery disease. *Russian Journal of Cardiology*. 2020;25(11):4076 (in Russian)]. DOI:10.15829/29/1560-4071-2020-4076
6. Borrie A, Goggin C, Ershad S, et al. Noninvasive Myocardial Work Index: Characterizing the Normal and Ischemic Response to Exercise. *J Am Soc Echocardiogr*. 2020;33(10):1191-200. DOI:10.1016/j.echo.2020.05.003
7. Edwards NFA, Scalia GM, Sabapathy S, et al. Resting global myocardial work can improve interpretation of exercise stress echocardiography. *Int J Cardiovasc Imaging*. 2021;37(8):2409-17. DOI:10.1007/s10554-021-02216-0
8. Нагрузочные тесты в клинической практике. Под ред. С.Ю. Бартош-Зеленой. СПб.: АРГУС, 2018 [Bartosh-Zelenaya SYu, eds. *Nagruzochnyye testy v klinicheskoi praktike*. Saint Petersburg: ARGUS, 2018 (in Russian)].
9. Patel MR, Calhoon JH, Dehmer GJ, 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):2212-41. DOI:10.1016/j.jacc.2017.02.001
10. Lang RM, Badano LP, Mor-Avi V, 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
11. Pellikka PA, Arruda-Olson A, Chaudhry FA, 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
12. Edwards NFA, Scalia GM, Shiino K, 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):947-57. DOI:10.1016/j.echo.2019.02.014
13. Edwards NFA, Scalia GM, Putrino A, et al. Myocardial work and left ventricular contractile reserve during stress echocardiography: An angiographic validation. *Echocardiography*. 2021;38(10):1711-21. DOI:10.1111/echo.15194
14. Lin J, Wu W, Gao L, et al. Global Myocardial Work Combined with Treadmill Exercise Stress to Detect Significant Coronary Artery Disease. *J Am Soc Echocardiogr*. 2022;35(3):247-57. DOI:10.1016/j.echo.2021.10.009

Статья поступила в редакцию / The article received: 17.08.2023



OMNIDOCTOR.RU