

## Возможности кардиопульмонального тестирования и диастолического стресс-теста в диагностике сердечной недостаточности с сохраненной фракцией выброса у больных артериальной гипертонией и ожирением

Шупенина Е. Ю., Сафарова Г. А., Васюк Ю. А.

ФГБОУ ВО "Российский университет медицины" Минздрава России. Москва, Россия

**Цель.** Оценить возможности кардиопульмонального тестирования в сочетании со стресс-эхокардиографией с дозированной физической нагрузкой (ФН) в выявлении хронической сердечной недостаточности (СН) с сохраненной фракцией выброса (СНсФВ) левого желудочка (ЛЖ) у пациентов с артериальной гипертонией и ожирением.

**Материал и методы.** В обсервационное исследование были включены 150 больных с АГ, из которых 35 — без ожирения и не имели признаков СН, 35 — с ожирением и без признаков СН, 80 — с признаками СНсФВ и ожирением. Артериальная гипертензия считалась выявленной, если офисное артериальное давление  $\geq 140/90$  мм рт.ст., ожирение диагностировалось при индексе массы тела  $\geq 30$  кг/м<sup>2</sup>. Пациентам выполнялись эхокардиография (ЭхоКГ) в покое и на фоне дозированной ФН, анализировались параметры систолической и диастолической функции ЛЖ. При проведении диастолического стресс-теста оценка диастолической функции ЛЖ проводилась на уровне 50 Вт, при достижении анаэробного порога (АП), субмаксимальной частоты сердечных сокращений, а также в период восстановления.

**Результаты.** Средний возраст пациентов составил  $58,2 \pm 10,8$  лет. Динамика показателей тканевой доплерографии у больных с признаками СНсФВ показала достоверно более низкие значения скорости движения септальной (e' септ.) и латеральной (e' лат.) части фиброзного кольца митрального клапана на всех этапах ФН, по сравнению с другими группами. При этом e' септ. и e' лат. увеличивались по мере достижения АП, а дальнейшее увеличение ФН не сопровождалось повышением данных показателей и на уровне субмаксимальной частоты сердечных сокращений.

**Заключение.** Сочетание диастолического стресс-теста с кардиопульмональным тестированием позволило выявить снижение си-

столической функции ЛЖ на фоне увеличения нагрузки выше АП у больных СНсФВ, тогда как в других группах эти параметры продолжали расти. Данные показатели могут быть использованы в диагностике СНсФВ при неубедительном приросте соотношения максимальной скорости раннего диастолического трансмитрального кровотока и диастолического подъема основания ЛЖ в раннюю диастолу (E/e') при небольшом уровне ФН.

**Ключевые слова:** сердечная недостаточность с сохраненной фракцией выброса левого желудочка, диастолическая дисфункция левого желудочка, диастолический стресс-тест, кардиопульмональное нагрузочное тестирование, эхокардиография.

**Отношения и деятельность:** нет.

Поступила 24/11-2024

Рецензия получена 02/12-2024

Принята к публикации 28/04-2025



**Для цитирования:** Шупенина Е. Ю., Сафарова Г. А., Васюк Ю. А. Возможности кардиопульмонального тестирования и диастолического стресс-теста в диагностике сердечной недостаточности с сохраненной фракцией выброса у больных артериальной гипертонией и ожирением. *Кардиоваскулярная терапия и профилактика*. 2025;24(8):4296. doi: 10.15829/1728-8800-2025-4296. EDN: NPRPHJ

### Potential of cardiopulmonary exercise testing and diastolic stress test in diagnosis of heart failure with preserved ejection fraction in patients with hypertension and obesity

Shupenina E. Yu., Safarova G. A., Vasyuk Yu. A.  
Russian University of Medicine. Moscow, Russia

**Aim.** To evaluate the potential of cardiopulmonary exercise testing in combination with exercise stress echocardiography in detection of heart failure (HF) with preserved ejection fraction (HFpEF) in patients with hypertension (HTN) and obesity.

**Material and methods.** The observational study included 150 patients with HTN, of which 35 were without obesity and had no signs of HF,

35 — with obesity and without signs of HF, while 80 had signs of HFpEF and obesity. Hypertension was considered detected with office blood pressure  $\geq 140/90$  mm Hg, while obesity — with a body mass index  $\geq 30$  kg/m<sup>2</sup>. Patients underwent resting and exercise echocardiography, and the parameters of systolic and diastolic left ventricular (LV) function were analyzed. During the diastolic stress test, LV diastolic function

\*Автор, ответственный за переписку (Corresponding author):  
e-mail: m-medik@mail.ru

[Шупенина Е. Ю. — к.м.н., профессор кафедры госпитальной терапии № 1, ORCID: 0000-0001-6188-4610, Сафарова Г. А.\* — ассистент кафедры госпитальной терапии № 1, ORCID: 0000-0003-4870-0252, Васюк Ю. А. — д.м.н., профессор, зав. кафедрой госпитальной терапии № 1, ORCID: 0000-0003-2913-9797].

was assessed at 50 W, upon reaching the anaerobic threshold (AT), submaximal heart rate, and during the recovery period.

**Results.** The mean age of patients was 58,2±10,8 years. Changes of tissue Doppler parameters in patients with HFpEF showed significantly lower septal and lateral mitral annulus velocity ( $e'$ ) at all exercise stages, compared with other groups. At the same time, septal and lateral  $e'$  increased as AT was reached, and a further exercise increase was not accompanied by an increase in these parameters at the level of submaximal heart rate.

**Conclusion.** The combination of diastolic stress test with cardiopulmonary testing made it possible to identify a decrease in LV systolic function with a load increase above AT in patients with HFpEF, while in other groups these parameters continued to grow. These parameters can be used in the diagnosis of HFpEF with an inconclusive increase in the ratio of the peak velocity of early diastolic transmitral flow to early diastolic rise of LV base ( $E/e'$ ) at a low exercise level.

**Keywords:** heart failure with preserved left ventricular ejection fraction, left ventricular diastolic dysfunction, diastolic stress test, cardiopulmonary exercise testing, echocardiography.

**Relationships and Activities:** none.

Shupenina E.Yu. ORCID: 0000-0001-6188-4610, Safarova G.A.\* ORCID: 0000-0003-4870-0252, Vasyuk Yu.A. ORCID: 0000-0003-2913-9797.

\*Corresponding author:  
m-medik@mail.ru

**Received:** 24/11-2024

**Revision Received:** 02/12-2024

**Accepted:** 28/04-2025

**For citation:** Shupenina E.Yu., Safarova G.A., Vasyuk Yu.A. Potential of cardiopulmonary exercise testing and diastolic stress test in diagnosis of heart failure with preserved ejection fraction in patients with hypertension and obesity. *Cardiovascular Therapy and Prevention*. 2025;24(8):4296. doi: 10.15829/1728-8800-2025-4296. EDN: NPRPHJ

АГ — артериальная гипертония, АП — анаэробный порог, ДД — диастолическая дисфункция, ДСТ — диастолический стресс-тест, ДФ — диастолическая функция, КПНТ — кардиопульмональный тест, ЛЖ — левый желудочек, СН — сердечная недостаточность, СНсФВ — сердечная недостаточность с сохраненной фракцией выброса, ФН — физическая нагрузка, ЧСС — частота сердечных сокращений, ЭхоКГ — эхокардиография, E/A — соотношение скорости раннего диастолического наполнения ЛЖ и скорости наполнения ЛЖ в систолу предсердий,  $e'$  септ. — скорость диастолического подъема септальной части фиброзного кольца митрального клапана,  $e'$  лат. — скорость диастолического подъема латеральной части фиброзного кольца митрального клапана, E/e' — соотношение максимальной скорости раннего диастолического трансмитрального кровотока и диастолического подъема основания ЛЖ в раннюю диастолу, GLS — Global Longitudinal Strain (глобальная деформация ЛЖ в продольном направлении), Vmax TR — максимальная скорость регургитации на трикуспидальном клапане.

## Введение

Сердечная недостаточность (СН) с сохраненной фракцией выброса ЛЖ (СНсФВ) представляет собой сложное состояние, на долю которого приходится более половины всех госпитализаций пациентов с СН, что подчеркивает ее значимость для системы здравоохранения во всем мире [1]. Каждый год наблюдается рост числа пациентов с этим диагнозом, эффективные методы лечения пока не разработаны, а уровень смертности остается высоким. Прогнозируется дальнейшее увеличение случаев СНсФВ из-за роста продолжительности жизни и повышения распространенности среди населения таких заболеваний как ожирение и артериальная гипертония (АГ) [2].

Постановка диагноза СНсФВ до сих пор остается трудной задачей, несмотря на рекомендованные алгоритмы диагностики данного заболевания [3, 4]. Симптомы в этой группе больных неспецифичны, а уровни натрийуретического пептида могут быть в пределах нормальных значений даже при подтвержденной СНсФВ, в особенности у людей с ожирением [5]. Проведение стандартной эхокардиографии (ЭхоКГ) в покое также может быть недостаточным для диагностики СНсФВ. Известно, что в основе диагностики СНсФВ лежит выявление объективных признаков застоя или повышенного давления наполнения ЛЖ, обусловленного диастолической дисфункцией (ДД) [6, 7]. Согласно данным Европейского регистра 2020г, диагноз СНсФВ был поставлен лишь у четверти пациентов, госпитализированных по поводу острой СН, при использовании критериев, предложенных Европей-

ским обществом кардиологов в 2016г. Отсутствие рестриктивного/псевдонормального типа ДД при выполнении ЭхоКГ исключало СН, а симптомы связывались с обострением сопутствующих заболеваний [8, 9].

Поскольку многим пациентам с СНсФВ диагноз устанавливается только при первой госпитализации по поводу декомпенсированной СН, что может приводить к задержке начала лечения и ухудшению клинических исходов, в настоящее время приоритетным в отношении СНсФВ становится ее более раннее выявление [10]. Однако в этом тоже есть сложности, т.к. давление наполнения ЛЖ повышается только во время физиологического стресса, такого как ФН [5]. В последние годы стресс-ЭхоКГ продемонстрировала важное значение для выявления повышенного давления наполнения ЛЖ при ФН на ранней стадии СНсФВ [11]. Тем не менее, количество исследований, посвященных выявлению субклинической СНсФВ при стресс-ЭхоКГ и кардиопульмональном нагрузочном тестировании (КПНТ), ограничено, а полученные в них результаты носят предварительный характер и требуют уточнения. Это и послужило основанием для проведения настоящего исследования.

Цель исследования — определение возможности КПНТ в сочетании со стресс-ЭхоКГ с дозированной ФН в выявлении СНсФВ у пациентов с АГ и ожирением.

## Материал и методы

Всего в исследовании приняли участие 150 больных: 35 больных с АГ и нормальной массой тела (груп-

### Ключевые моменты

#### Что известно о предмете исследования?

- Диастолический стресс-тест в сочетании с кардиопульмональным нагрузочным тестированием позволяет более точно диагностировать сердечную недостаточность с сохраненной фракцией выброса (СНсФВ) левого желудочка (ЛЖ).
- Основными диагностическими критериями являются повышение соотношения максимальной скорости раннего диастолического трансмитрального кровотока и диастолического подъема основания ЛЖ в раннюю диастолу до  $\geq 15$ , увеличение максимальной скорости регургитации на трикуспидальном клапане ( $V_{\max} TR$ )  $> 3,4$  м/с.

#### Что добавляют результаты исследования?

- У пациентов с ожирением при нагрузке 50 Вт наблюдались признаки начальной диастолической дисфункции, которые также сохранялись в период восстановления.
- Оценка скоростных показателей тканевой доплерографии ( $e'$  септ. и  $e'$ лат.) позволила выявить снижение систолической функции ЛЖ на фоне увеличения нагрузки выше анаэробного порога у больных с признаками СНсФВ, тогда как в группах пациентов с нормальной или незначительно сниженной массой тела и артериальной гипертонией и пациентов с артериальной гипертонией и ожирением эти параметры продолжали расти.
- Использование трансторакальной 2-мерной эхокардиографии с применением технологии Speckle Tracking дало возможность выявить ранние признаки нарушения систолической и диастолической функции ЛЖ при физической нагрузке и позволило подозревать субклиническое течение СНсФВ.

### Key messages

#### What is already known about the subject?

- Diastolic stress test in combination with cardiopulmonary exercise testing allows for a more accurate diagnosis of heart failure with preserved left ventricular (LV) ejection fraction (HFpEF).
- The main diagnostic criteria are an increase in ratio of the peak velocity of early diastolic transmitral flow to early diastolic rise of LV base  $\geq 15$ , an increase in peak tricuspid regurgitation velocity  $> 3,4$  m/s.

#### What might this study add?

- In obese patients, initial diastolic dysfunction was observed under a load of 50 W, which also persisted during the recovery period.
- Evaluation of tissue Doppler velocity parameters (septal and lateral  $e'$ ) made it possible to identify a decrease in LV systolic function with an increase in load above the anaerobic threshold in patients with HFpEF, whereas in groups of patients with normal or slightly reduced body weight and hypertension and patients with hypertension and obesity, these parameters continued to increase.
- The use of transthoracic 2-dimensional speckle-tracking echocardiography made it possible to identify early signs of impaired systolic and diastolic LV function during exercise and made it possible to suspect the subclinical course of HFpEF.

па 1), 35 пациентов с АГ, ожирением и без признаков СН (группа 2) и 80 пациентов с АГ, ожирением и признаками СНсФВ (группа 3). В исследование были включены 39 (26%) мужчин и 111 (74%) женщин. Средний возраст пациентов составил  $58,2 \pm 10,8$  лет. Критерии включения: АГ (офисное артериальное давление  $\geq 140/90$  мм рт.ст.), ожирение (индекс массы тела  $\geq 30$  кг/м<sup>2</sup>) и признаки СНсФВ.

Диагноз СНсФВ устанавливался на основании клинических рекомендаций Европейского общества кардиологов (ESC — European Society of Cardiology), 2016 [6], который включал в себя несколько основных критериев:

- наличие симптомов и/или признаков СН (одышка, отеки, снижение толерантности к ФН и др.);
- фракция выброса ЛЖ  $\geq 50\%$  по данным ЭхоКГ в покое;
- выявление у пациента ДД ЛЖ при проведении ЭхоКГ в покое в соответствии с рекомендациями Американского общества эхокардиографии (АОЭ) и Евро-

пейской ассоциации сердечно-сосудистой визуализации (ЕАССВ) 2016г.

Оценка диастолической функции (ДФ) ЛЖ проводилась из апикальной 4-камерной позиции с использованием импульсно-волновой доплерографии для трансмитрального потока. ДФ ЛЖ оценивали по 4 основным признакам:

- соотношение максимальной скорости раннего диастолического трансмитрального кровотока и диастолического подъема основания ЛЖ в раннюю диастолу ( $E/e'_{cp.}$ )  $> 14$ ;
- скорость диастолического подъема септальной части фиброзного кольца митрального клапана ( $e'$ септ.)  $< 7$  см/с, скорость диастолического подъема латеральной части фиброзного кольца митрального клапана ( $e'$ лат.)  $< 10$  см/с;
- максимальная скорость регургитации на трикуспидальном клапане ( $V_{\max} TR$ )  $> 2,8$  м/с;

Таблица 1

Клинико-anamnestические данные и факторы риска у больных АГ без или с ожирением, а также с признаками СНсФВ при включении в исследование

Показатели		1 группа (n=35)	2 группа (n=35)	3 группа (n=80)
Пол, n (%)	Муж.	13 (37,1)	17 (48,6)	10 (12,5)**
	Жен.	22 (62,9)	18 (51,4)	70 (87,5)**
Возраст, лет, M±SD		49,0±7,3	48,2±6,0	66,2±6,0**
Длительность ожирения, лет, M±SD		—	14,7±10,5	22,4±11,9
Степень ожирения, n (%)	1-я	—	21 (60%)	42 (52,5%)
	2-я	—	11 (31,4%)	22 (27,5%)
	3-я	—	3 (8,6%)	16 (20%) <sup>#</sup>
ОТ, см (M±SD)	Муж.	90,4±6,8	106,3±14,8*	121,8±9,6**
	Жен.	81,6±10,3	98,9±16,4*	111,2±10,3**
ОТ/ОБ (M±SD)	Муж.	0,86±0,04	0,97±0,05*	1,04±0,05**
	Жен.	0,79±0,05	0,88±0,09*	0,92±0,06**
Длительность АГ, лет, Me (Q25-Q75)		2,0 (1,0-6,0)	4,5 (2,0-10,0)	16,0 (10,0-25,0)**
Степень АГ, n (%)	1-я	29 (82,9)	24 (68,6)	1 (1,3)
	2-я	6 (17,1)	10 (28,6)	14 (17,5)
	3-я	0	1 (2,8)	65 (81,2)
Факторы сердечно-сосудистого риска, n (%)	Курение	7 (20,0)	14 (40,0)*	9 (11,3) <sup>#</sup>
	Дислипидемия	8 (22,9)	9 (25,7)	40 (50,0)**
	СД	0	4 (11,0)	38 (47,5) <sup>#</sup>
	Отягощенный анамнез	14 (40,0)	4 (11,4)*	69 (86,3)**
Храп в ночное время (%)		9 (25,7)	20 (57,1)*	63 (78,8)*
Одышка при ФН (%)		0	6 (17,1)	72 (90)**
6-минутный тест ходьбы, м, Me (25%-75%)		475,0 (465,0-575,0)	425,0 (375,0-430,0)	337,5** (250,0-370,0)
Заболевания периферических артерий, n (%)		2 (5,7%)	5 (14,3)	15 (18,9)
Заболевания почек, n (%)		1 (2,9)	3 (8,6)	16 (20,0)**
Заболевания щитовидной железы, n (%)		5 (16,7)	1 (3,3)	25 (31,3)**

Примечание: АГ — артериальная гипертония, Me (Q25-Q75) — медиана (интерквартильный размах), СД — сахарный диабет, ОТ — окружность талии, ОБ — окружность бедер, ФН — физическая нагрузка. \* —  $p < 0,05$  в сравнении с 1 группой, <sup>#</sup> —  $p < 0,05$  в сравнении со 2 группой.

— индексированный объем левого предсердия  $> 34$  мл/м<sup>2</sup>.

При выявлении у пациента  $\geq 3$  признаков, диагностировалась ДД ЛЖ. При выявлении только 1 признака ДД ЛЖ исключалась. При выявлении 2 признаков результат расценивался как неопределенный и предполагал проведение дополнительного исследования — диастолического стресс-теста (ДСТ).

Информированное согласие на участие в исследовании было подписано всеми включенными пациентами. Общая характеристика пациентов представлена в таблице 1.

При общеклиническом обследовании 84 (56,0%) пациента жаловались на одышку при ФН, 6 (4%) — отмечали одышку в покое, 16 (10,7%) — одышку в ночное время; 62 (41,3%) больных предъявляли жалобы на слабость, 32 (21,3%) пациента отмечали перебои в работе сердца, 59 (39,3%) — сердцебиение, 21 (14,0%) — ночной кашель; у 28 (18,7%) пациентов выявлена пастозность стоп и голени, у 37 (24,7%) — отеки.

Стресс-ЭхоКГ с дозированной ступенчато возрастающей ФН в сочетании с КПНТ была проведена в соответствии с рекомендациями Европейской эхокардиографической ассоциации [12] на горизонтальном велоэргометре Ergoline (Германия) с программным обеспечением

MetaControl 3000 и блоком нагрузочного газоанализа 123 включенным пациентам до назначения стандартной терапии, из них 64 пациентам с признаками СНсФВ и неоднозначными данными стандартной и расширенной ЭхоКГ. Оценка ДФ ЛЖ проводилась на уровне 50 Вт при достижении анаэробного порога (АП), субмаксимальной частоты сердечных сокращений (ЧСС), а также в период восстановления. Критерием достижения АП являлось: преобладание выделения CO<sub>2</sub> над потреблением O<sub>2</sub> в выдыхаемом воздухе, превышение вентиляторного эквивалента по O<sub>2</sub> (VE/VO<sub>2</sub>) над вентиляторным эквивалентом по CO<sub>2</sub> (VE/VCO<sub>2</sub>), повышение дыхательного обменного коэффициента (Respiratory Exchange Ratio, RER)  $> 1$ . Для выявления ДД оценивались параметры трансмитрального доплеровского спектра, тканевой доплерографии, V<sub>max</sub> TP. ДСТ считался положительным при увеличении соотношения максимальной скорости раннего диастолического трансмитрального кровотока и диастолического подъема основания ЛЖ в раннюю диастолу (E/e')  $\geq 15$ , V<sub>max</sub> TP  $> 3,4$  м/с.

Глобальная деформация ЛЖ в продольном направлении (Global Longitudinal Strain, GLS) оценена с использованием технологии "след пятна" (Speckle Tracking Imaging — 2D Strain) и опции "AFI" из апикальной позиции на уровне 2-х, 3-х и 4-х камер. Расчет GLS проводил-

Таблица 2

ДФ ЛЖ по данным стресс-ЭхоКГ у больных АГ без или с ожирением, а также с признаками СНсСФ при включении в исследование

Показатель, M±SD	1 группа (n=31)	2 группа (n=28)	3 группа (n=64)
E 50 Вт, см/с	85,8±10,4	74,7±13,9	100,6±17,5*#
A 50 Вт, см/с	79,4±15,7	80,6±12,0	104,7±18,2*#
E/A 50 Вт	1,12±0,3	0,90±0,2*	0,97±0,2
e' септ. (см/с) 50 Вт	10,7±1,6	9,4±2,3	8,1±1,7*
e' лат. (см/с) 50 Вт	15,6±2,8	14,4±3,2	10,7±2,2*#
E/e' ср. 50 Вт	6,6±1,1	6,7±0,9	11,1±3,1*#
Vmax TP (м/с) 50 Вт	1,75±0,5	1,70±0,3	3,0±0,4*#
e' септ. (см/с) АП	12,6±3,3	14,3±3,5	9,6±1,5*#
e' лат. (см/с) АП	16,7±3,2	16,5±4,6	12,1±2,1*#
Vmax TP (м/с) АП	2,17±0,2	2,10±0,2	3,22±0,2*#
e' септ. (см/с) субмЧСС	14,8±3,6	18,3±2,1	9,0±1,9*#
e' лат. (см/с) субмЧСС	17,7±3,3	20,3±2,5	11,4±3,1*#
E восст. (см/с)	79,5±10,8	80,8±18,1	92,4±18,3*
A восст. (см/с)	80,6±14,8	85,3±10,7	98,7±17,9*#
E/A восст.	0,99±0,2	0,94±0,2*	0,94±0,2*
e' септ. (см/с) восст.	9,6±1,1	8,8±1,3	6,7±1,4*
e' лат. (см/с) восст.	13,1±3,1	13,5±1,7	9,2±1,8*#
E/e' сред. восст.	6,8±1,1	7,2±1,7	13,0±2,8*#
Vmax TP (м/с) восст.	1,7±0,2	1,8±0,2	2,5±0,5*#

Примечание: АП — анаэробный порог, восст. — период восстановления, ЛЖ — левый желудочек, СНсФВ — сердечная недостаточность с сохраненной фракцией выброса, субмЧСС — субмаксимальная частота сердечных сокращений, E/A — соотношение скорости раннего диастолического наполнения ЛЖ и скорости наполнения ЛЖ в систолу предсердий, e' септ. — скорость диастолического подъема септальной части фиброзного кольца митрального клапана, e' лат. — скорость диастолического подъема латеральной части фиброзного кольца митрального клапана, E/e' ср. — соотношение максимальной скорости раннего диастолического трансмитрального кровотока и диастолического подъема основания ЛЖ в раннюю диастолу, Vmax TP — максимальная скорость регургитации на трикуспидальном клапане. \* — p<0,05 в сравнении с группой 1, # — p<0,05 в сравнении с группой 2.

ся автоматически или по формуле (GLS2C + GLS4C + GLS5C)/3. Кроме того оценивали деформацию в каждом из 17 сегментов ЛЖ. Стандартная ЭхоКГ и деформация в продольном направлении были оценены в покое и на пике ФН.

Статистическую обработку полученных данных проводили с использованием программы Statistica 12.0 Statsoft. При нормальном распределении признака данные представлены в виде среднего и стандартного отклонения (M±SD), а также абсолютного числа и процентного соотношения. Для непараметрического распределения данных использовали медиану и интерквартильный размах (Me [Q25; Q75]). Для статистической обработки в зависимости от распределения переменной применяли критерии Стьюдента, Манна-Уитни, Вилкоксона. Различия сравниваемых величин считали статистически значимыми при p<0,05.

Исследование проведено согласно стандартам надлежащей клинической практики (Good Clinical Practice) и принципами Хельсинкской Декларации. Протокол исследования был одобрен Межвузовским Этическим Комитетом.

## Результаты

При анализе изменений трансмитрального кровотока на начальной ступени нагрузки (50 Вт) скорости наполнения ЛЖ в диастолу и систолу предсердий (пики E и A) были существенно выше

у больных 3 группы по сравнению с другими группами, что может свидетельствовать о нарушении адаптационных механизмов к ФН (таблица 2).

У пациентов с ожирением без признаков СН было выявлено наименьшее соотношение скорости раннего диастолического наполнения ЛЖ и скорости наполнения ЛЖ в систолу предсердий (E/A), что характерно для ДД 1 ст. Дальнейшее увеличение нагрузки приводило к увеличению ЧСС и слиянию пиков E и A, что не позволяло анализировать трансмитральный доплеровский спектр.

Оценка пиков E и A в период восстановления подтверждала выявленные на начальном этапе нагрузки изменения: у больных 3 группы скоростные показатели наполнения ЛЖ остались достоверно самыми высокими, а соотношение пиков E/A у больных 2 группы, достоверно ниже, чем у пациентов из 1 группы. При анализе динамики показателей тканевой доплерографии у больных с признаками СНсФВ были выявлены достоверно более низкие значения e' септ. и e' лат. на всех этапах ФН по сравнению с другими группами. При этом e' септ. и e' лат. увеличивались по мере достижения АП, а дальнейшее увеличение ФН не сопровождалось повышением данных показателей и на уровне субмаксимальной ЧСС они, наоборот, снизились.

У больных 3 группы были выявлены максимальные значения соотношения  $E/e'$  на уровне 50 Вт нагрузки и в период восстановления, что являлось важным диагностическим критерием. В этой же группе больных  $V_{\max}$  ТР было достоверно выше, по сравнению с другими пациентами, что являлось критерием положительного ДСТ и подтверждало наличие СН.

Несмотря на нормальные значения ФВ ЛЖ, анализ GLS показал, что у пациентов с подозрением на СНсФВ его значение существенно снижалось на пике нагрузки, в сравнении с пациентами контрольной группы, у которых данный параметр как в покое, так и при физической активности оставался в пределах нормальных значений. Такие данные могут свидетельствовать о субклинической дисфункции сердечной мышцы.

## Обсуждение

Анализ результатов настоящего исследования показал, что ДСТ является эффективным методом ранней диагностики ДД и СНсФВ. В современных рекомендациях также предложено применять его как диагностический инструмент для выявления СН у пациентов с необъяснимой одышкой [11].

Известно, что во время ФН у лиц с нормальной ДФ  $e'$  увеличивается в той же степени, что и пик  $E$  митрального клапана и общее отношение  $E/e'$  остается неизменным и не превышает значения 6-8. У пациентов с ДД пик  $E$  в процессе нагрузки прогрессивно нарастает, тогда как скорость  $e'$  остается сниженной, тем самым приводя к высокой величине соотношения  $E/e'$  [13]. Так, соотношение  $E/e' \geq 15$  на сегодняшний день является ключевым показателем повышения давления наполнения ЛЖ [14]. В исследовании Takagi T, et al. [15] у трети из 310 пожилых пациентов, направленных на стресс-ЭхоКГ, после ФН соотношение  $E/e'$  было  $\geq 15$ . Эти пациенты были достоверно старше ( $p=0,005$ ), имели существенно больший индекс массы тела ( $p=0,046$ ), у них значимо чаще выявлялось нарушение толерантности к глюкозе ( $p=0,006$ ), они имели достоверно больший индекс массы ЛЖ ( $p=0,038$ ) и увеличенный показатель индексированного объема ЛП ( $p=0,004$ ), а также более высокое значение  $E/e'$  в покое ( $p<0,001$ ).

Непереносимость ФН и появление одышки во время ее выполнения у больных с ожирением не являются специфическими признаками СНсФВ. ДСТ и КНПТ предоставляют ценную информацию для диагностики СНсФВ в этой группе больных [16].

При оценке результатов стресс-ЭхоКГ в сочетании с КНПТ выяснилось, что у больных СНсФВ до достижения АП происходит небольшой прирост  $e'$  септ. и  $e'$ лат., тогда как при дальнейшем увеличении нагрузки до субмаксимальной ЧСС эти показатели снижаются. У пациентов с ожирением уже на

начальной ступени нагрузки (50 Вт) значение соотношения пиков  $E$  и  $A$  было выше, что характерно для ДД 1 ст. При этом прирост  $e'$ септ. и  $e'$ лат. сохранялся на всем протяжении нагрузочного теста.

Помимо этого, в группе пациентов с признаками СНсФВ  $V_{\max}$  ТР была значительно выше по сравнению с другими участниками исследования. Это служило критерием положительного ДСТ и подтверждало наличие СН. Эти данные согласуются с исследованиями Obokata R, et al., которые, основываясь на инвазивных измерениях давления в ЛЖ, обнаружили, что комбинация  $E/e'$  и скорости регургитации на трикуспидальном клапане при нагрузке обладает достаточной чувствительностью и специфичностью для диагностики СНсФВ [17]. К такому же выводу пришли в исследовании Velyavskiy E, et al., где сочетание отношения  $E/e'$  с показателем скорости регургитации на трикуспидальном клапане при ФН существенно повышало эффективность диагностики пациентов с СНсФВ (чувствительность составила 72,7%, специфичность — 79,5%, а точность — 78%) [18]. Таким образом, можно полагать, что и показатель  $E/e'$ , и скорости регургитации на трикуспидальном клапане при ФН могут иметь клиническую ценность для пациентов в "серой зоне" с подозрением на СНсФВ.

**Ограничения исследования.** Исследование ограничено малой выборкой пациентов. Больные с подозрением на СНсФВ, как правило, пожилого возраста и не могут переносить длительно ФН. Основными причинами отказа от проведения нагрузочной пробы были заболевания опорно-двигательного аппарата (остеохондроз, артриты), наличие болевого синдрома при педалировании без ФН.

## Заключение

Проведение ДСТ в сочетании с КНПТ позволяет более точно диагностировать СНсФВ. Считается, что основными диагностическими критериями являются повышение  $E/e'$  до  $\geq 15$ , увеличение  $V_{\max}$  ТР  $>3,4$  м/с. Анализ этих показателей возможен на начальном этапе нагрузочного теста (50 Вт) и в период восстановления. Оценка скоростных показателей тканевой доплерографии ( $e'$  септ. и  $e'$ лат.) позволила выявить снижение систолической функции ЛЖ на фоне увеличения нагрузки выше АП у больных СНсФВ, тогда как в других группах эти параметры продолжали расти. Данные особенности могут быть использованы в диагностике СНсФВ при неубедительном приросте  $E/e'$  при небольшом уровне ФН. У больных с ожирением на уровне нагрузки 50 Вт отмечались признаки начальной ДД, которые сохранялись и в период восстановления. По данным трансторакальной 2-мерной ЭхоКГ с использованием технологии Speckle Tracking выявляются ранние признаки нарушения систолической и диастолической функ-

ции ЛЖ при ФН, что подтверждается снижением GLS и позволяет подозревать субклиническое течение заболевания.

**Отношения и деятельность:** все авторы заявляют об отсутствии потенциального конфликта интересов, требующего раскрытия в данной статье.

## Литература/References

- Galyavich AS, Tereshchenko SN, Uskach TM, et al. 2024 Clinical practice guidelines for Chronic heart failure. Russian Journal of Cardiology. 2024;29(11):6162. (In Russ.) Галявич А.С., Терещенко С.Н., Ускач Т.М. и др. Хроническая сердечная недостаточность. Клинические рекомендации 2024. Российский кардиологический журнал. 2024;29(11):6162. doi:10.15829/1560-4071-2024-6162.
- Gohar A, Kievit RF, Valstar GB, et al. Opportunistic screening models for high-risk men and women to detect diastolic dysfunction and heart failure with preserved ejection fraction in the community. Eur J Prev Cardiol. 2019;26(6):613-23. doi:10.1177/2047487318816774.
- Borlaug BA. Evaluation and management of heart failure with preserved ejection fraction. Nat Rev Cardiol. 2020;17:559-73. doi:10.1038/s41569-020-0363-2.
- Vasyuk YuA, Shupenina EYu, Namazova GA. Novel algorithms for diagnosing heart failure with preserved ejection fraction in patients with hypertension and obesity. Cardiovascular Therapy and Prevention. 2021;20(1):2569. (In Russ.) Васюк Ю.А., Шупенина Е.Ю., Намазова Г.А. Новые алгоритмы диагностики сердечной недостаточности с сохраненной фракцией выброса левого желудочка у пациентов с артериальной гипертензией и ожирением. Кардиоваскулярная терапия и профилактика. 2021;20(1):2569. doi:10.15829/1728-8800-2021-2569.
- Yang JH, Harada T, Choi KH, et al. Peripheral venous pressure-assisted exercise stress echocardiography in the evaluation of pulmonary hypertension during exercise in patients with suspected heart failure with preserved ejection fraction. Circ Heart Fail. 2022;15:e009028. doi:10.1161/CIRCHEARTFAILURE.121.009028.
- Ponikowski P, Voors AA, Anker SD, et al. 2016 ESC guidelines for the diagnosis and treatment of acute and chronic heart failure: the Task Force for the diagnosis and treatment of acute and chronic heart failure of the European Society of Cardiology (ESC) developed with the special contribution of the Heart Failure Association (HFA) of the ESC. Eur Heart J. 2016;37:2129-200. doi:10.1093/eurheartj/ehw128.
- Buckley LF, Canada JM, Del Buono, et al. Low NT-proBNP levels in overweight and obese patients do not rule out a diagnosis of heart failure with preserved ejection fraction. ESC Heart Fail. 2018;5:372-8. doi:10.1002/ehf2.12235.
- Pavlyukova EN, Kuzhel DA. Heart failure with preserved ejection fraction: the role of diastolic stress test in diagnostic algorithms. Russian Journal of Cardiology. 2021;26(2):4147. (In Russ.) Павлюкова Е.Н., Кужель Д.А. Сердечная недостаточность с сохраненной фракцией выброса левого желудочка: роль диастолического стресс-теста в алгоритмах диагностики. Российский кардиологический журнал. 2021;26(2):4147. doi:10.15829/1560-4071-2021-4147.
- Kapton-Cieślicka A, Laroche C, Crespo-Leiro MG, et al. Is heart failure misdiagnosed in hospitalized patients with preserved ejection fraction? From the European Society of Cardiology — Heart Failure Association EURObservational Research Programme Heart Failure Long-Term Registry. ESC Heart Fail. 2020;7(5):2098-112. doi:10.1002/ehf2.12817.
- Pop-Busui R, Januzzi JL, Brummer D, et al. Heart failure: an underappreciated complication of diabetes. A consensus report of the American diabetes association. Diabetes Care. 2022;45:1670-90. doi:10.2337/dci22-0014.
- Harada T, Kagami K, Obokata M. Exercise stress echocardiography in the diagnostic evaluation of heart failure with preserved ejection fraction. J Cardiovasc Dev Dis. 2022;9:87. doi:10.3390/jcdd9030087.
- Sicari R, Nihoyannopoulos P, Evangelista A, et al.; European Association of Echocardiography. Stress echocardiography expert consensus statement: European Association of Echocardiography (EAE) (a registered branch of the ESC). Eur J Echocardiogr. 2008;9(4):415-37. doi:10.1093/ejehocard/jen175.
- Sozzi FB, Maganti K, Malanchini G, et al. Diastolic stress test in heart failure with preserved ejection fraction. Eur J Prev Cardiol. 2020;27(19):2089-91. doi:10.1177/2047487319858796.
- Ovchinnikov AG, Ageev FT, Alekhin MN, et al. The role of diastolic transthoracic stress echocardiography with incremental workload in the evaluation of heart failure with preserved ejection fraction: indications, methodology, interpretation. Expert consensus developed under the auspices of the National Medical Research Center of Cardiology, Society of Experts in Heart Failure (SEHF), and Russian Association of Experts in Ultrasound Diagnosis in Medicine (REUDM). Kardiologiya. 2020;60(12):48-63. (In Russ.) Овчинников А.Г., Агеев Ф.Т., Алехин М.Н. и др. Диастолическая трансторакальная стресс-эхокардиография с дозированной физической нагрузкой в диагностике сердечной недостаточности с сохраненной фракцией выброса: показания, методология, интерпретация результатов. Кардиология. 2020;60(12):48-63. doi:10.18087/cardio.2020.12.n1219.
- Takagi T, Yoshikawa J. Diastolic stress echocardiography in Japanese elderly patients: prevalence and features of patients with elevated left ventricular filling pressure after treadmill stress. J Echocardiogr. 2011;9:17-23. doi:10.1007/s12574-010-0062-9.
- Shim CY. Stress Testing in Heart Failure with Preserved Ejection Fraction. Heart Fail Clin. 2021;17(3):435-45. doi:10.1016/j.hfc.2021.02.007.
- Obokata M, Kane GC, Reddy YN, et al. Role of diastolic stress testing in the evaluation for heart failure with preserved ejection fraction: a simultaneous invasive-echocardiographic study. Circulation 2017;135:825-38. doi:10.1161/CIRCULATIONAHA.116.024822.
- Belyavskiy E, Morris DA, Url-Michitsch M, et al. Diastolic stress test echocardiography in patients with suspected heart failure with preserved ejection fraction: a pilot study. ESC Heart Fail. 2019;6(1):146-53. doi:10.1002/ehf2.12375.