



Оригинальная статья

# Связь снижения переносимости физической нагрузки с нарушениями вентиляции и газообмена у пациентов с различными фенотипами хронической сердечной недостаточности

Ю.Л. Беграмбекова<sup>✉</sup>, Н.А. Каранадзе, А.Н. Задоя, Е.М. Середенина, А.Г. Плисюк

ФГБОУ ВО «Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова», Москва, Россия

<sup>✉</sup>julia.begrambekova@ampk.info

## Аннотация

**Цель.** Оценка параметров вентиляции и газообмена и определение факторов, ассоциированных с уровнем пикового потребления кислорода, у пациентов с различными фенотипами хронической сердечной недостаточности (ХСН).

**Материалы и методы.** Исследование имело характер дополнительного анализа данных пациентов, включенных в исследование АЭРОФИТ и АЭРОФИТ-спиро. В представленный анализ включались пациенты из когорты обоих исследований, у которых имелись результаты эхокардиографии, кардиореспираторного нагрузочного тестирования, оценки силы дыхательной мускулатуры, теста 6-минутной ходьбы, клинического и биохимического анализа крови, результаты анкетирования по Госпитальной шкале тревоги и депрессии. В анализ включены 76 пациентов с ХСН. Для целей анализа пациенты были разделены на 2 группы: 1-я – 24 пациента с фракцией выброса (ФВ) менее 40% – группа ХСН с низкой ФВ (ХСНнФВ); 2-я – 62 пациента с ФВ ≥ 40% – группа ХСН с умеренно низкой ФВ (ХСНунФВ) + ХСН с сохраненной ФВ (ХСНсФВ).

**Результаты.** У пациентов с ХСНнФВ парциальное давление углекислого газа в конце выдоха (PetCO<sub>2</sub>) на пике нагрузки и прирост PetCO<sub>2</sub> при нагрузке были статистически значимо ниже, чем у пациентов с ХСНунФВ+ХСНсФВ ( $p=0,001$  и  $p=0,025$  соответственно). У пациентов с ФВ < 40% при проведении однофакторного анализа показатель PetCO<sub>2</sub> пик объяснял почти 60% изменений в зависимой переменной VO<sub>2</sub> пик ( $R^2=0,583$ ). У пациентов с ФВ ≥ 40% при проведении однофакторного анализа показатель PetCO<sub>2</sub> пик объяснял только 17% дисперсии ( $R^2=0,169$ ), а показатель Tidal Volume % расчетного объяснял около 40% дисперсии VO<sub>2</sub> пик ( $R^2=0,398$ ). При проведении многофакторного регрессионного анализа независимую связь с VO<sub>2</sub> пик демонстрировали показатели PetCO<sub>2</sub> пик, дыхательный объем % от референса и курение в прошлом.

**Заключение.** У пациентов с ХСНнФВ единственным фактором, независимо связанным с VO<sub>2</sub> пик, было PetCO<sub>2</sub>, что подчеркивает ведущую роль снижения сердечного выброса в снижении переносимости нагрузки у пациентов с ХСНнФВ. У пациентов с ХСНсФВ и ХСНунФВ ведущую роль приобретают нарушения вентиляции. Полученные данные подчеркивают важность персонализированной стратегии кардиореабилитации у пациентов с ХСН на основе данных кардиореспираторного нагрузочного тестирования.

**Ключевые слова:** хроническая сердечная недостаточность с низкой фракцией выброса, хроническая сердечная недостаточность с сохраненной фракцией выброса, хроническая сердечная недостаточность с умеренно низкой фракцией выброса, физические нагрузки, пиковое потребление кислорода при нагрузке, кардиореспираторное нагрузочное тестирование, парциальное давление углекислого газа в конце выдоха, дыхательный объем, сила дыхательной мускулатуры.

**Для цитирования:** Беграмбекова Ю.Л., Каранадзе Н.А., Задоя А.Н., Середенина Е.М., Плисюк А.Г. Связь снижения переносимости физической нагрузки с нарушениями вентиляции и газообмена у пациентов с различными фенотипами хронической сердечной недостаточности. *Клинический разбор в общей медицине*. 2026; 7 (5): 7–12. DOI: 10.47407/kr2026.7.05.00p4564

Original Article

## Correlation of the decrease in exercise tolerance with the ventilation and gas exchange disturbances in patients with various phenotypes of chronic heart failure

Yulia L. Begrambekova<sup>✉</sup>, Nino A. Karanadze, Artem N. Zadoia, Elena M. Seredenina, Alina G. Plisyuk

Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia

<sup>✉</sup>julia.begrambekova@ampk.info

## Abstract

**Aim.** To assess parameters of ventilation and gas exchange and determine the factors associated with the peak oxygen consumption levels in patients with various phenotypes of chronic heart failure (CHF).

**Methods.** The study was focused on further analysis of the data of patients included in the Aerofit and Aerofit-Spiro trials. Patients from cohorts of both studies, who had the ECHO, CPET, respiratory muscle strength assessment, 6-Minute Walk Test (6MWT), complete blood counts and blood biochemistry panel results, as well as the Hospital Anxiety and Depression Scale (HADS) scores, were included in the analysis. A total of 76 patients with CHF were included. The patients were divided into 2 groups for analysis: HFrEF group (EF < 40%, n=24) and HFmrEF+HFpEF (EF ≥ 40%, n=62).

**Results.** In patients with HFrEF, PETCO<sub>2</sub> values on peak exertion and the PETCO<sub>2</sub> increase on exertion were significantly lower, than in patients with HFmrEF+HFpEF ( $p=0.001$  and  $p=0.025$ , respectively). When conducting one-factor analysis in patients with EF < 40%, the PetCO<sub>2</sub> peak value explained almost 60% of changes in the VO<sub>2</sub> peak dependent variable ( $R^2=0.583$ ). When conducting one-factor analysis in patients with EF ≥ 40%, the PetCO<sub>2</sub> peak value explained only 17% of variance ( $R^2=0.169$ ), and tidal volume (% of reference value) explained about 40% of VO<sub>2</sub> peak variants ( $R^2=0.398$ ). When conducting multivariate regression analysis, independent associations with VO<sub>2</sub> peak were demonstrated by PetCO<sub>2</sub> peak, TV% of reference value, and the history of smoking.

**Conclusion.** In patients with HFrEF, the end-tidal partial pressure was the only factor independently associated with VO<sub>2</sub> peak. This emphasizes the key role of the decreased cardiac output in reduction of exercise tolerance in patients with HFrEF. In patients with HFpEF and HFmrEF,

the key role is played by ventilation disturbances. The data obtained emphasize the importance of personalized cardiac rehabilitation strategies for patients with CHF based on the CPET data.

**Keywords:** HFrEF, HFpEF, HFmrEF, physical exertion, VO<sub>2</sub> peak, cardiopulmonary exercise testing, PETCO<sub>2</sub>, tidal volume, respiratory muscle strength.

**For citation:** Begrambekova Yu.L., Karanadze N.A., Zadoia A.N., Seredenina E.M., Plisyuk A.G. Correlation of the decrease in exercise tolerance with the ventilation and gas exchange disturbances in patients with various phenotypes of chronic heart failure. *Clinical review for general practice*. 2026; 7 (5): 7–12 (In Russ.). DOI: 10.47407/kr2026.7.05.00p4564

## Введение

Ухудшение переносимости физических нагрузок является основным симптомом хронической сердечной недостаточности (ХСН) и чувствительным маркером снижения функционального резерва, сопровождающего прогрессирование заболевания. «Золотым стандартом» оценки физической выносливости служит оценка пикового потребления кислорода при нагрузке (VO<sub>2</sub> пик) в ходе проведения кардиореспираторного нагрузочного тестирования (КРНТ). VO<sub>2</sub> пик является важным прогностическим признаком, определяющим продолжительность жизни пациентов с ХСН [1]. КРНТ также позволяет получить точные и воспроизводимые данные о функционировании сердечно-сосудистой системы и системы внешнего дыхания при физических нагрузках и выявить спектр нарушений, ведущих к снижению ее переносимости.

Различные фенотипы ХСН по фракции выброса (ФВ) имеют различную этиологию и патогенетические механизмы, лежащие в основе их развития и прогрессирования, в связи с чем в настоящее время, по сути, рассматриваются как отдельные заболевания [2]. Соответственно, и совокупность факторов, приводящих к снижению переносимости нагрузки, а также их взаимодействие могут отличаться у пациентов с низкой и сохраненной ФВ. В частности, непереносимость физических нагрузок при ХСН с сохраненной ФВ (ХСНсФВ) отражает каскад множественных нарушений и дефицитов, приобретенных на протяжении всей жизни, таких как дефицит физической активности и связанная с ним дисфункция мышечной ткани, системное воспаление, ожирение и другие коморбидности, а при ХСН с низкой ФВ (ХСНнФВ) центральную роль играют нарушения гемодинамики. Однако и при ХСНнФВ важно учитывать механизмы непереносимости физических нагрузок, выходящие за рамки нарушений сердечного выброса (СВ) [3, 4].

Одним из наиболее важных некардиальных механизмов нарушения толерантности к физическим нагрузкам у пациентов с ХСН является ремоделирование системы внешнего дыхания. При этом внимание исследователей в основном сосредоточено на нарушениях, связанных с недостаточным кровотоком в легких, обусловленным дефицитом увеличения СВ при нагрузке. Недостаточная перфузия альвеол и несоответствие альвеолярной вентиляции и перфузии – увеличение альвеолярного мертвого пространства (VD) и возрастание соотношения VD к дыхательному объему (VT). Снижение площади перфузированных альвеол приводит к снижению диффузии монооксида углерода и замедлению его роста с увеличением интенсивности физической нагрузки. В нескольких работах было показано, что снижение парциального давления углекислого газа в конце фазы выдоха (PetCO<sub>2</sub>) на втором вентиляторном пороге и пике нагрузки связано с прогрессированием ХСН, тесно коррелирует с пиковым потреблением кислорода и сердечным индексом, выражено и негативно коррелирует с показателем дыхательной эффективности и является значи-

мым предиктором неблагоприятных сердечно-сосудистых событий как у пациентов со стабильной ХСН, так и у пациентов после трансплантации сердца [5, 6].

Другой важной особенностью ремоделирования дыхательной системы при ХСН является увеличение «работы дыхания». Было показано, что динамическая податливость легких у пациентов с сердечной недостаточностью (СН) ниже по сравнению со здоровыми людьми и, по-видимому, ухудшается во время физической нагрузки [7]. Снижение растяжимости и/или податливости (повышенная «жесткость») легких объясняется механическими ограничениями вследствие конкуренции за внутригрудное давление, развитием интерстициального отека легких, особенно во время физических нагрузок, и ремоделированием легочной паренхимы вследствие повышенного уровня циркулирующих цитокинов и/или хронического гидростатического воздействия [8–10]. Первичным следствием такого снижения податливости легких у пациентов с СН являются увеличение нагрузки на дыхательные мышцы и снижение их выносливости, в результате чего у пациентов с ХСН формируется паттерн частого поверхностного дыхания. В этом случае невозможность увеличения VT при нагрузке начинает вносить вклад в увеличение соотношения VD/VT, но уже за счет низкого VT. В подавляющем большинстве работ вклад различных факторов, связанных с ремоделированием системы внешнего дыхания в снижение кардиореспираторной выносливости, изучался на смешанной популяции пациентов или только у пациентов с ХСНнФВ. Таким образом, в настоящее время недостаточно данных о вкладе нарушений газообмена и вентиляции в снижение кардиореспираторной выносливости при различных фенотипах ХСН.

**Цель** исследования – оценка параметров вентиляции и газообмена и определение факторов, ассоциированных с уровнем пикового потребления кислорода, у пациентов с различными фенотипами ХСН.

## Материалы и методы

Исследование имело характер дополнительного анализа данных пациентов, включенных в исследования АЭРОФИТ и АЭРОФИТ-спиро, результаты которых были опубликованы ранее [11, 12]. В представленный анализ включались пациенты из когорт обоих исследований, у которых имелись полные результаты эхокардиографии, КРНТ, оценки силы дыхательной мускулатуры, теста 6-минутной ходьбы, клинического и биохимического анализа крови, результаты анкетирования по Госпитальной шкале тревоги и депрессии (HADS).

В обоих исследованиях функциональные тестирования проводились по единому протоколу в соответствии с актуальными рекомендациями [13]. КРНТ выполнялось на оборудовании SCHILLER CARDIOVIT AT 104 PC Ergo-Spiro. Пациенты проходили тестирование на тредмиле с использованием модифицированного протокола Брюса с предварительным проведением спирометрии. Сила дыхательной мускулатуры измерялась с помощью

ручного прибора для оценки силы дыхательной мускулатуры MicroRPM (Micro Medical). Определялись максимальное давление выдоха (MEP) и вдоха (MIP) в ротовой полости.

Скорость клубочковой фильтрации (СКФ) рассчитывалась по формуле СКД-EPI (Chronic Kidney Disease Epidemiology Collaboration).

Оценка симптоматики тревоги и депрессии проводилась до функционального тестирования для исключения влияния его результатов на ответы пациентов.

### Статистический анализ

Непрерывные переменные представлены медианой (Me) и интерквартильным размахом [Q25; Q75] при непараметрическом распределении, в виде среднего (M) и стандартного отклонения (SD) при условии нормаль-

ного распределения, категориальные переменные – в виде абсолютных значений и процентов. Проверка распределения количественных данных выполнялась с использованием критерия Шапиро–Уилка. Сравнительный анализ количественных признаков проводился на основании t-теста для нормально распределенных признаков, при отсутствии нормального распределения использовался U-критерий Манна–Уитни. Для сравнения качественных параметров применялись критерий хи-квадрат и критерий  $\chi^2$  с поправкой Йетса. Прогностическая точность моделей линейной регрессии оценивалась по коэффициенту детерминации ( $R^2$ ), определяющему долю (в процентах) изменений, изучаемых переменных, в общей изменчивости зависимой переменной, а также скорректированный  $R^2$  для поправки на переобучаемость модели. Для оценки общей значимо-

**Таблица 1. Сравнение клинико-демографических и функциональных характеристик пациентов**

Table 1. Comparison of the patients' clinical, demographic, and functional characteristics

Показатель	Все пациенты	ХСНнФВ (n=24)	ХСНунФВ+ХСНсФВ (n=52)	p
Женщины, абс. (%)	24 (31,6)	3 (12,5)	21 (40,4)	0,016
Возраст (Me), лет	69 [62; 73,8]	64	68,9	0,041
Индекс массы тела (M±SD)	29,5±5,4	30,02	30,03±5,67	0,538
Курение в настоящее время, абс. (%)	5 (6,4)	3 (12,5)	2 (3,8)	0,360*
Курение в прошлом, абс. (%)	17 (21,8)	9 (37,5)	8 (15,4)	0,064*
Функциональный класс СН, абс. (%)				
I	4 (5,3)	2 (8,3)	2 (3,8)	0,083
II	33 (43,4)	6 (25,0)	27 (51,9)	
III	39 (51,3)	16 (66,7)	23 (44,2)	
IV	0 (0)	0(0)	0(0)	
ФВ (Me)	36,3 [45; 51,6]	33,5 [28,25; 36]	48 [45; 55]	<0,001
Конечно-систолический объем (Me)	60,5 [44; 104,5]	124	56	<0,001
Конечно-диастолический объем (Me)	124 [92; 178]	184	108	<0,001
VO2 пик (M±SD), мл/кг/мин	14,98±5,13	13,42±5,9	15,7±4,7	0,060
VO2 пик % от референса, M±SD	70,5±25,5	56,4± 21,5	76,2±25	0,002
VE/VCO2 (Me)	31,32±7,5	33±10,5	30,55±5,58	0,186
VT % расчетного (M±SD)	62,93±17,36	56,96±14,79	65,42±18,25	0,051
PetCO2 пик (M±SD), мм рт. ст.	33,93±6,29	30,7±6,38	35,7±5,57	0,001
PetCO2 покой, мм рт. ст., M±SD	28,7±4,0	27,48±4,0	29,39±3,9	0,062
ΔPetCO2 пик-покой, мм рт. ст.	5,1±5,2	3,2±4,8	6,2±5,1	0,025
Дыхательный резерв % (M±SD)	49,71±18,52	52,58±12,79	48±20,95	0,346
MIP (Me), мм в. ст.	86 [55; 93]	79 [65,8; 99,5]	67,5 [53,5; 91,3]	0,001
MIP % от ожидаемых значений (Me)	88,4 [54; 92]	92,25 [80,7; 108,5]	88 [63,4; 117,6]	0,800
MEP (Me), мм в. ст.	118 [108; 158,5]	138 [108,8; 158,5]	110 [95; 132]	0,024
MEP % от ожидаемых значений (Me)	115 [93,5; 137,73]	120,6 [108,78; 158,5]	113,8 [91,5; 140]	0,741
Тест 6-минутной ходьбы (Me), м	380 [320; 426,3]	385 [322,5; 450]	380 [315; 421,3]	0,631
Баллы по HADS (Me)	9 [5; 14]	8 [3,5; 11,8]	10,5 [6; 15]	0,414
Гемоглобин (M±SD), г/дл	129,3±41	130,5±34,7	128,8±44,3	0,794
RDW-CV (Me), %	14,1 [13; 15,8]	15 [13,8; 16,7]	13,8 [12,8; 14,8]	0,022
C-реактивный белок (Me), мг/л	2,5 [0,59; 5,14]	2,5 [0,49; 7,24]	2,4 [0,63; 4,17]	0,536
Мочевая кислота (Me), мкмоль/л	377 [29; 7491]	488,5 [385,8; 557]	343 [290; 447]	0,004
NT-proBNP (Me), пг/мл	1206 [415,3; 2716]	1706 [125; 5238]	1053 [460; 2310]	0,611
Креатинин (Me), мкмоль/л	102 [88; 121,3]	98 [90; 106]	104 [87; 124]	0,613
СКФ	64,42±19,38	69,42±18,56	61,86±19,51	0,148
Постинфарктный кардиосклероз, абс. (%)	45 (57,7)	14 (58)	29 (55,8)	0,969*
Кардиомиопатия, абс. (%)	5 (6,4)	4 (16,6)	1 (1,2)	0,056*
Фибрилляция предсердий, абс. (%)	31 (39,7)	9 (37,5)	22 (42,3)	0,885*
Сахарный диабет, абс. (%)	21 (26,9)	7 (29,1)	14 (26,9)	0,943*
Степень ЛГ на эхокардиографии				
I	16 (21)	3 (12,5)	13 (25)	0,166
II	15 (19,7)	8 (33,5)	7 (12,3)	
III	2 (2,6)	1 (4)	1 (1,9)	

\*Критерий Хи-квадрат с поправкой Йетса. RDW-CV – степень отклонения объема эритроцитов от нормы; NT-proBNP, N-концевой натрийуретический пропептид В типа; VE/fVCO2 – кривая наклона минутной вентиляции к объему CO2.

сти регрессионной модели применялся метод F-статистики (отношение объясненной моделью дисперсии) к необъясненной дисперсии (дисперсия остатков).

### Результаты

В анализ были включены 76 пациентов со стабильной ХСН II–III функционального класса, получавшие оптимальную медикаментозную терапию и немедикаментозное лечение. Средний возраст пациентов составил  $67,9 \pm 9,9$  года, 69% – мужчины.

Для целей анализа пациенты были разделены на 2 группы: 1-я – группа ХСНнФВ (ФВ<40%); 2-я – группа ХСН с умеренно низкой ФВ (ХСНунФВ) + ХСНсФВ (ФВ≥40%). Клинико-демографические и функциональные характеристики пациентов представлены в табл. 1.

Как видно из табл. 1, пациенты с ФВ<40% были моложе, однако имели тенденцию к более низким средним значениям показателя  $VO_2$  пик, хотя различия и не достигали статистической значимости. В процентах от референса  $VO_2$  пик был статистически значимо ниже в группе пациентов с ХСНнФВ. Группы выражено отличались по  $PetCO_2$  на пике нагрузки ( $PetCO_2$  пик) и по динамике  $\Delta PetCO_2$  пик-покой. Показатель VT % расчетного не достигал статистически значимой разницы между группами. Средняя дистанция в тесте 6-минутной ходьбы между группами и показатели силы дыхательной мускулатуры между группами не отличались. Для выявления факторов, связанных с  $VO_2$  пик у пациентов с различными фенотипами ХСН, был проведен однофакторный, а затем многофакторный регрессионный анализ.

У пациентов с ФВ<40% при проведении однофакторного анализа связь с  $VO_2$  пик демонстрировали показатели ФВ, конечно-систолический объем, степень легочной гипертензии (ЛГ),  $PetCO_2$ , MIP, дыхательный резерв, VT % от референса. При этом показатель  $PetCO_2$  пик объяснял почти 60% изменений в зависимой переменной  $VO_2$  пик ( $R^2=0,583$ ); рис. 1.

При проведении многофакторного регрессионного анализа независимую связь с  $VO_2$  пик демонстрировал только показатель  $PetCO_2$  (табл. 2). При этом модель демонстрировала хорошую предсказательную способность, объясняя до 82% дисперсии показателя  $VO_2$ .

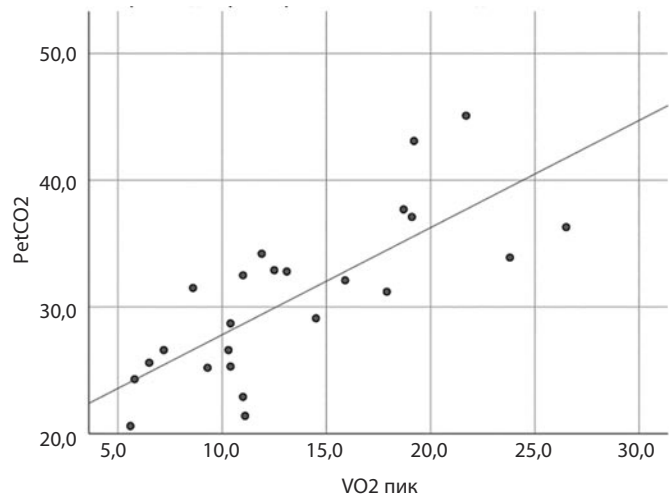
У пациентов с ФВ≥40% при проведении однофакторного анализа связь с  $VO_2$  пик демонстрировали возраст, пол, курение в прошлом,  $PetCO_2$  пик, VT % от расчетного (табл. 3). В этой группе показатель  $PetCO_2$  пик объяснял только 17% дисперсии ( $R^2=0,169$ ), а показатель Tidal Volume % расчетного объяснял около 40% дисперсии  $VO_2$  пик ( $R^2=0,398$ ); рис. 2.

При проведении многофакторного регрессионного анализа независимую связь с  $VO_2$  пик демонстрировали показатели  $PetCO_2$  пик, VT% от расчетного и курение в прошлом (табл. 3).

Далее мы провели оценку факторов, независимо связанных с  $PetCO_2$  пик в обеих группах. Анализ показал, что у пациентов с ХСНнФВ с показателем  $PetCO_2$  пик были независимо связаны возраст, ФВ и степень ЛГ по данным эхокардиографии. Эти факторы сохраняли статистическую значимость и при проведении многофакторного анализа. У пациентов с ФВ≥40% с показателем  $PetCO_2$  пик в однофакторном анализе были связаны возраст, ФВ, СКФ и Tidal Volume % расчетного. При проведении многофакторного анализа показатель Tidal Volume % расчетного терял связь с  $PetCO_2$  пик (табл. 4, 5).

**Рис. 1. Однофакторная линейная регрессия, зависимая переменная  $VO_2$  пик. Пациенты с ФВ<40%.**

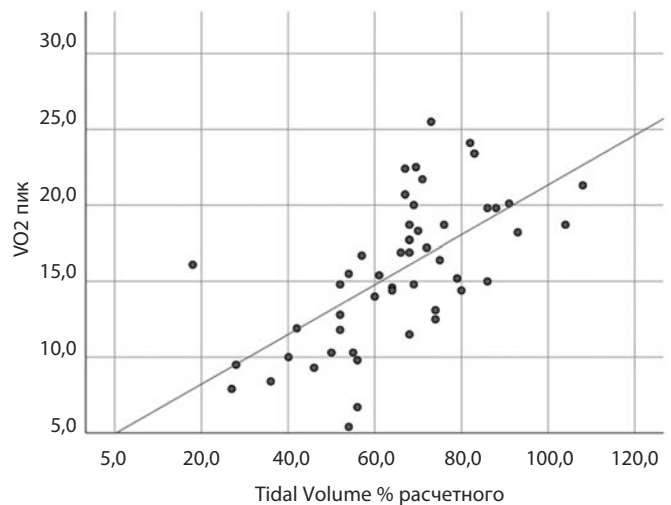
*Fig. 1. One-factor linear regression. The dependent variable is  $VO_2$  peak. Patients with EF <40%.*



$R^2$  линейная = 0,583

**Рис. 2. Однофакторная линейная регрессия. Зависимая переменная  $VO_2$  пик. Пациенты с ФВ≥40%.**

*Fig. 2. One-factor linear regression. The dependent variable is  $VO_2$  peak. Patients with EF ≥40%.*



$R^2$  линейная = 0,398

### Обсуждение

В нашем исследовании показатель  $VO_2$  пик был ассоциирован с различными факторами у пациентов с различными фенотипами ХСН. У пациентов с ХСНнФВ единственным фактором, независимо связанным с  $VO_2$  пик, было  $PetCO_2$ , что подчеркивает ведущую роль снижения СВ в снижении переносимости нагрузки у пациентов с ХСНнФВ, что было показано во многих других исследованиях. В отличие от группы ХСНнФВ, у пациентов с ХСНунФВ+ХСНсФВ сразу несколько факторов было независимо ассоциировано с пиковым потреблением кислорода. Показатель  $PetCO_2$  пик в однофакторном анализе объяснял только 17% дисперсии  $VO_2$  пик, в отличие от показателя VT % от расчетного, который объяснял почти 40% дисперсии  $VO_2$  пик. Исходя из формулы Фика:  $VO_2 = СВ \times$  (концентрация  $O_2$  в артери-

**Таблица 2. Линейная регрессия. Пациенты с ФВ<40%. Зависимая переменная VO2 пик**  
 Table 2. Linear regression. Patients with EF<40%. The dependent variable is VO2 peak

Показатель	Оценка	Нижний 95% ДИ	Верхний 95% ДИ	Стандартная ошибка	t-статистика	p
PetCO2	0,661	0,395	0,926	0,124	5,328	<0,001
Дыхательный резерв, %	-0,081	-0,184	0,023	0,048	-1,669	0,117
Курение в прошлом	0,220	-2,369	2,809	1,207	0,182	0,858
Фибрилляция предсердий	-2,412	-5,390	0,566	1,389	-1,737	0,104
ЛГ степень	1,155	-0,586	2,896	0,812	1,423	0,177
R <sup>2</sup>	0,822					
Скорректированный R <sup>2</sup>	0,759					
p (F)	<0,0001					

Примечание. ДИ – доверительный интервал; R<sup>2</sup> – коэффициент регрессии.

**Таблица 3. Линейная регрессия. Пациенты с ФВ≥40%. Зависимая переменная VO2 пик**  
 Table 3. Linear regression. Patients with EF≥40%. The dependent variable is VO2 peak

Показатель	Оценка	Нижний ДИ 95%	Верхний ДИ 95%	Стандартная ошибка	t-статистика	p
Курение в прошлом	-3,289	-5,885	-0,693	1,279	-2,572	0,015
Возраст	-0,019	-0,148	0,110	0,064	-0,303	0,764
Пол	-1,598	-3,535	0,339	0,954	-1,675	0,103
PetCO2 пик	0,229	0,048	0,409	0,089	2,568	0,015
Tidal Volume % расчетного	0,109	0,056	0,162	0,026	4,210	<0,001
R <sup>2</sup>	0,635					
Скорректированный R <sup>2</sup>	0,593					
p (F)	<0,0001					

**Таблица 4. Линейная регрессия. Пациенты с ФВ<40%. Зависимая переменная PetCO2 пик**  
 Table 4. Linear regression. Patients with EF<40%. The dependent variable is PetCO2 on peak exertion

Показатель	Оценка	Нижний ДИ 95%	Верхний ДИ 95%	Стандартная ошибка	t-статистика	p
HADS	-0,167	-0,545	0,211	0,177	-0,942	0,361
Возраст	-0,168	-0,401	0,065	0,109	-1,535	0,146
ФВ	0,372	0,058	0,686	0,147	2,522	0,023
Степень ЛГ	-2,805	-4,907	-0,703	0,986	-2,845	0,012
R <sup>2</sup>	0,685					
Скорректированный R <sup>2</sup>	0,589					
p (F)	<0,001					

**Таблица 5. Линейная регрессия. Пациенты с ФВ≥40%. Зависимая переменная PetCO2 пик**  
 Table 5. Linear regression. Patients with EF≥40%. The dependent variable is PetCO2 on peak exertion

Показатель	Оценка	Нижний ДИ 95%	Верхний ДИ 95%	Стандартная ошибка	t-статистика	p
Возраст	-0,231	-0,437	-0,024	0,101	-2,281	0,030
ФВ	0,270	0,080	0,460	0,093	2,893	0,007
Tidal Volume % расчетного	0,036	-0,043	0,115	0,039	0,922	0,364
СКФ	0,146	0,061	0,230	0,041	3,528	0,001
R <sup>2</sup>	0,634					
Скорректированный R <sup>2</sup>	0,593					
p (F)	<0,0001					

альной крови – концентрация O<sub>2</sub> в венозной крови), – очевидно, что низкий VT может быть связан со снижением VO<sub>2</sub> пик только в случае, если поверхностное дыхание приводит к артериальной гипоксии. Долгое время существовало мнение о том, что гипоксемия не развивается при СН в отсутствие явного отека легких [15]. Однако эти выводы были сделаны на основании исследований пациентов с ХСНнФВ, имеющих более выраженные нарушения СВ, при этом изучались пациенты более молодого возраста, с меньшим количеством сопутствующих заболеваний и, в отличие от пациентов с ХСНсФВ, преимущественно мужчины [15–17]. Позднее в исследованиях пациентов с ХСНсФВ было пока-

зано, что гипоксемия при нагрузке развивалась у значительного числа пациентов (от 25 до 42%) и была связана с низким значением VT ( $p<0,0001$ ), увеличенной долей физиологического шунта при нагрузке, а также с худшей выживаемостью и не была связана с повышением давления в легочной артерии или давления заклинивания в легочных капиллярах [18, 19].

Мы не обнаружили связь курения в прошлом с уровнем потребления кислорода у пациентов с ХСН независимо от ФВ. Аналогичные данные были получены и в исследовании, в котором не было показано связи нарушений вентиляции и газообмена с курением в настоящее время или в прошлом у пациентов с ХСНнФВ [20].

Однако дизайн нашего исследования не позволяет точно определить, было ли отсутствие связи с курением у пациентов ХСНнФВ ассоциировано с ведущей ролью нарушений кровоснабжения альвеол, нивелирующих вклад всех остальных механизмов или с тем, что у пациентов из группы ХСНнФВ имели место меньшая продолжительность или интенсивность курения, так как эти данные в ходе исследования не собирались.

У пациентов с ХСНнФВ значения  $PetCO_2$  пик и меньший прирост  $PetCO_2$  при нагрузке были статистически значимо ниже, чем у пациентов с ХСНунФВ+ХСНсФВ ( $p=0,001$  и  $p=0,025$ , соответственно), что было показано и в исследовании E. van Iterson и соавт., по результатам которого уменьшение парциального давления углекислого газа ( $PaCO_2$ ) на пике нагрузки у пациентов с ХСНнФВ объясняло более чем в 2 раза большую дисперсию наклона  $VE/VCO_2$  по сравнению с той же взаимосвязью, исследованной у пациентов с ХСНсФВ. И напротив, несмотря на более низкий пиковый  $VD/VT$  по сравнению с ХСНнФВ, объясненная дисперсия между увеличением  $VD/VT$  и наклоном  $VE/VCO_2$  у пациентов с ХСНсФВ была более чем в 1,5 раза больше, чем у пациентов с ХСНнФВ [21].

Величина  $PetCO_2$  пик в нашем исследовании была ассоциирована с различными факторами у пациентов с разными фенотипами ХСН. У пациентов с ХСНнФВ, как и в других работах,  $PetCO_2$  демонстрировал выраженную независимую связь с ФВ [22, 23]. У пациентов с ХСНунФВ+ХСНсФВ наблюдались более сложные взаимосвязи. В частности, независимую ассоциацию с  $PetCO_2$  продемонстрировали возраст и СКФ, что подчеркивает важность кардио-пульмо-ренальных взаимодействий у пациентов с ХСНсФВ.

И, наконец, в нашем исследовании еще раз были продемонстрированы отсутствие связи функциональных показателей при нагрузке с силой дыхательной мускулатуры в покое [24], а также довольно низкая чувствительность дистанции теста 6-минутной ходьбы, средние показатели которой не различались у пациентов с различными фенотипами ХСН и демонстрировали корреляцию умеренной силы с пиковым потреблением кислорода.

В настоящий момент проведен целый ряд исследований, внесших вклад в развитие этого направления, в которых с использованием инвазивных методов исследования, таких как катетеризация легочной артерии и правых отделов сердца, вен нижних конечностей и мышечная биопсия, изучался вклад различных патогене-

тических механизмов в снижение толерантности к физическим нагрузкам. Были показаны преимущественная роль гемодинамических нарушений при ХСНнФВ и важная роль периферических нарушений (нарушения вентиляции и утилизации кислорода в мышцах) у пациентов с ХСНсФВ. Однако даже внутри определенного фенотипа ХСН существует значительная индивидуальная патофизиологическая вариабельность, связанная с такими важными индивидуальными характеристиками, как возраст, пол, индекс массы тела, уровень тренированности, уровень нарушений вентиляции и наличие коморбидностей, что предполагает потенциально важную роль фенотипирования пациентов, основанного на реакции на физическую нагрузку. Очевидно, что для задачи фенотипирования необходимо использование неинвазивных методов обследования пациентов, доступных не только в научных лабораториях, но и в клинической практике. КРНТ позволяет объективизировать вклад гемодинамических нарушений и нарушений вентиляции, развивающихся у пациентов с продвинутыми стадиями ХСН, и при сочетании с другими клиническими методами исследования дает достаточно полную картину для назначения персонализированной кардиореабилитации.

**Ограничения исследования.** К ограничениям исследования следует отнести одномоментный характер исследования и небольшое число участников.

## Заключение

$VO_2$  пик был ассоциирован с различными факторами у пациентов с разными фенотипами ХСН. У пациентов с ХСНнФВ единственным фактором, независимо связанным с  $VO_2$  пик, было  $PetCO_2$ , что подчеркивает ведущую роль снижения СВ в снижении переносимости нагрузки у пациентов с ХСНнФВ. У пациентов с ХСНсВ+ХСНунФВ ведущую роль приобретают нарушения вентиляции, что делает дыхательную мускулатуру важной терапевтической мишенью у этой категории пациентов. Полученные данные подчеркивают важность персонализированной стратегии кардиореабилитации у пациентов с ХСН на основе данных КРНТ.

**Финансирование.** Исследование выполнено в рамках государственного задания Московского государственного университета имени М.В. Ломоносова.

**Funding.** The study was conducted within the framework of the State Assignment of the Lomonosov Moscow State University.

**Конфликт интересов.** Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов. **Conflict of interest.** The authors declare that they have no conflict of interest.

Список литературы доступен на сайте журнала <https://klin-razbor.ru/>  
The list of references is available on the journal's website <https://klin-razbor.ru/>

## ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

**Беграмбекова Юлия Леоновна** – канд. мед. наук, доц., врач-кардиолог, Медицинский научно-образовательный институт ФГБОУ ВО «МГУ имени М.В. Ломоносова» (Университетская клиника). E-mail: [julia.begrambekova@ampk.info](mailto:julia.begrambekova@ampk.info); ORCID: 0000-0001-7992-6081

**Каранадзе Нино Амирановна** – канд. мед. наук, врач-кардиолог, Медицинский научно-образовательный институт ФГБОУ ВО «МГУ имени М.В. Ломоносова» (Университетская клиника). ORCID: 0000-0002-1072-3670

**Задоя Артем Николаевич** – врач-ординатор-кардиолог, Медицинский научно-образовательный институт ФГБОУ ВО «МГУ имени М.В. Ломоносова» (Университетская клиника). ORCID: 0009-0007-0587-7193

**Середенина Елена Михайловна** – канд. мед. наук, доц., врач-терапевт, Медицинский научно-образовательный институт ФГБОУ ВО «МГУ имени М.В. Ломоносова» (Университетская клиника). ORCID: 0000-0002-1490-2078

**Плисюк Алина Геннадьевна** – канд. мед. наук, доц., врач-кардиолог, Медицинский научно-образовательный институт ФГБОУ ВО «МГУ имени М.В. Ломоносова» (Университетская клиника). ORCID: 0000-0003-2015-4712

Поступила в редакцию: 26.02.2026  
Поступила после рецензирования: 27.02.2026  
Принята к публикации: 05.03.2026

## INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

**Yulia L. Begrambekova** – Cand. Sci. (Med.), Associate Professor, Lomonosov Moscow State University. E-mail: [julia.begrambekova@ampk.info](mailto:julia.begrambekova@ampk.info); ORCID: 0000-0001-7992-6081

**Nino A. Karanadze** – Cand. Sci. (Med.), cardiologist, Lomonosov Moscow State University. ORCID: 0000-0002-1072-3670

**Artem N. Zadoia** – clinical resident, cardiologist, Lomonosov Moscow State University. ORCID: 0009-0007-0587-7193

**Elena M. Seredenina** – Cand. Sci. (Med.), Associate Professor, Lomonosov Moscow State University. ORCID: 0000-0002-1490-2078

**Alina G. Plysyuk** – Cand. Sci. (Med.), Associate Professor, Lomonosov Moscow State University. ORCID: 0000-0003-2015-4712

Received: 26.02.2026  
Revised: 27.02.2026  
Accepted: 05.03.2026