

# Спирометрические и структурно-функциональные изменения работы аппарата внешнего дыхания у пациентов с хронической сердечной недостаточностью

В. С. Шабает\*, И. В. Оразмагомедова, В. А. Мазурок, А. В. Березина, А. Е. Баутин, Л. Г. Васильева, Д. А. Александрова

Национальный медицинский исследовательский центр им. В. А. Алмазова  
Минздрава России,  
Россия, 197341, г. Санкт-Петербург, ул. Аккуратова, д. 2

---

*Для цитирования:* В. С. Шабает, И. В. Оразмагомедова, В. А. Мазурок, А. В. Березина, А. Е. Баутин, Л. Г. Васильева, Д. А. Александрова. Спирометрические и структурно-функциональные изменения работы аппарата внешнего дыхания у пациентов с хронической сердечной недостаточностью. *Общая реаниматология*. 2023; 19 (5). <https://doi.org/10.15360/1813-9779-2023-5-2344> [На русск. и англ.]

\*Адрес для корреспонденции: Виталий Сергеевич Шабает, shabaev\_vitaliy@mail.ru

## Резюме

**Цель исследования.** Выявить структурно-функциональные изменения состояния аппарата внешнего дыхания у пациентов с хронической сердечной недостаточностью.

**Материалы и методы.** Провели проспективное обсервационное исследование на базе Национального медицинского исследовательского центра им. В.А. Алмазова у 118 испытуемых: 49 пациентов с хронической сердечной недостаточностью (ХСН) и 69 – здоровых людей (контрольная группа). Критериями включения пациентов в группу с ХСН служило наличие ХСН II-IV функционального класса по NYHA. Критериями исключения – заболеваний органов системы дыхания, морбидного ожирения, заболеваний органов брюшной полости, анемии.

Структурное (толщину) и функциональное (индекс утолщения и экскурсию) состояние диафрагмы во время спокойного и глубокого вдоха/выдоха оценивали с помощью ультразвукового аппарата, параметры функции внешнего дыхания – с помощью аппарата искусственной вентиляции при самостоятельном дыхании через маску.

**Результаты.** Пациенты с ХСН были старше 59,0 лет (53,0;70,0) против 25,0 (24,0;26,0) в контрольной группе,  $p=0,000001$ , имели большую массу тела - 82,0 (73,0;95,0) против 68,5 (55,0;84,0) кг,  $p=0,000005$  и индекс массы тела 28,4 (24,3;31,3) против 21,8 (19,9;24,0) кг/м<sup>2</sup>,  $p=0,000001$ , но не различались в росте 173,0 (166,0;179,0) против 170,0 (165,0;183,0) см, 0,97.

У пациентов с ХСН выявили меньший максимальный объем вдоха 3000,0 (2300,0;4000,0) против 3684,1 (3392,5;4310,8) мл,  $p=0,0006$  и генерируемое дыхательными мышцами отрицательное давление – «силу вдоха»: 43,1 (-56,7; -33,0) против 53,5 (-58,8;-50,9) мБар,  $p=0,000082$ , соответственно. Диафрагма у пациентов с ХСН была значимо толще (мм) при спокойном и глубоком дыхании по сравнению со здоровыми испытуемыми: толщина на высоте спокойного вдоха составила справа 3,0 (2,2;3,6)/1,9 (1,5;2,2),  $p < 0,001$ ; слева 3,0 (2,4;3,5)/1,7 (1,4;2,0),  $p=0,000001$ ; толщина в конце спокойного выдоха справа - 2,2 (1,8;2,9)/1,5 (1,2;1,7),  $p=0,000001$ ; слева - 2,0 (1,7;2,5)/1,4 (1,2;1,5),  $p=0,000001$ ; толщина на высоте глубокого вдоха справа - 5,1 (4,4;6,1)/4,4 (3,6;5,1),  $p=0,0005$ , слева 4,9 (4,2;6,2)/ 3,7 (3,1;4,8)  $p=0,000007$ , соответственно. Индекс утолщения при глубоком дыхании был меньше в исследуемой группе, чем в контрольной: справа 131,1 (82,5;181,8) против 190,9 (150,0;240,0),  $p=0,000004$ ; слева 148,8 (112,5;190,3) против 175,2 (130,7;227,7),  $p=0,03$ , соответственно. Экскурсия в покое была более выражена у пациентов с ХСН, чем у здоровых: справа 2,3 (1,6;2,8) против 1,7 (1,5;1,9),  $p=0,0001$ ; слева 1,8 (1,5;2,2) против 1,5 (1,3;1,9),  $p=0,03$ , соответственно.

**Заключение.** Хроническая сердечная недостаточность вносит вклад в развитие структурно-функциональных нарушений диафрагмы.

**Ключевые слова:** хроническая сердечная недостаточность; ультразвуковое исследование диафрагмы; диафрагма; функция внешнего дыхания; функция диафрагмы; диафрагмальная дисфункция

**Конфликт интересов.** Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

## **Morphological and Functional Alterations of Respiratory Muscle Performance and Spirometry Parameters in Patients with Congestive Heart Failure**

Vitaliy S. Shabaev\*, Indira V. Orazmagomedova, Vadim A. Mazurok, Aelita V. Berezina, Andrei E. Bautin, Lyudmila G. Vasilyeva, Daria A. Aleksandrova

Almazov National Medical Research Centre, Ministry of Health of Russia,  
2 Akkuratova Str., 197341 Petersburg, Russia

---

**For citation:** Vitaliy S. Shabaev, Indira V. Orazmagomedova, Vadim A. Mazurok, Aelita V. Berezina, Andrei E. Bautin, Lyudmila G. Vasilyeva, Daria A. Aleksandrova.. Morphological and Functional Alterations of Respiratory Muscle Performance and Spirometry Parameters in Patients with

\*Correspondence to: Shabaev Vitaliy Sergeevich, shabaev\_vitaliy@mail.ru

## Summary

**The purpose of the study.** To identify structural changes and functional modifications in respiratory muscle performance in patients with congestive heart failure.

**Materials and methods.** We conducted prospective observational study at the V.A. Almazov National Medical Research Center involving 118 subjects: 49 patients with congestive heart failure (CHF-group) and 69 healthy people (control group). NYHA functional classes of II to IV were taken as inclusion criteria in the CHF group, and respiratory diseases, abdominal pathology, morbid obesity, and anemia – as exclusion criteria.

Ultrasound imaging was used to assess the structural (thickness) and functional (thickening and excursion indices) diaphragmatic impairments during quiet (resting) and deep breathing. Facemask spirometry was used to assess pulmonary function.

**Results.** Patients with CHF were on average older than 59.0 years (53.0;70.0) vs. 25.0 years (24.0;26.0) in the control group,  $p=0.000001$ , had excessive body weight - 82.0 (73.0;95.0) vs. 68.5 (55.0;84.0) kg,  $p=0.000005$  and higher body mass index - 28.4 (24.3;31.3) vs 21.8 (19.9;24.0) kg/m<sup>2</sup>,  $p=0.000001$ , but did not differ in height 173.0 (166.0;179.0) vs. 170.0 (165.0;183.0) cm, 0.97.

Lower maximum inspiratory volume (MIV): 3000,0 (2300,0;4000,0) vs. 3684,1 (3392,5;4310,8) ml,  $p=0.0006$ , and negative inspiratory force (NIF) measured as max negative pressure generated by the respiratory muscles: 43,1 (-56,7; -33,0) vs. 53,5 (-58,8; -50,9) mBar,  $p=0.000082$ , respectively were found in patients with CHF. The diaphragm was significantly thicker (mm) in patients with CHF during quiet (eupnea) and deep breathing compared to healthy subjects. The thickness at the end of quiet inspiration was 3,0 (2,2;3,6)/1,9 (1,5;2,2) in the right hemi-diaphragm,  $p < 0.001$ ; and 3,0 (2,4;3,5)/1,7 (1,4;2,0) – in the left,  $p=0.000001$ ; thickness at the end of quite expiration - 2,2 (1,8;2,9)/1,5 (1,2;1,7) in the right dome,  $p=0.000001$ ; and 2,0 (1,7;2,5)/1,4 (1,2;1,5) – in the left,  $p=0.000001$ . Thickness at the end of deep in spiration was 5.1 (4.4;6.1)/4.4 (3.6;5.1) in the right dome,  $p=0.0005$ , and 4,9 (4,2;6,2)/ 3,7 (3,1;4,8) – in the left,  $p=0,000007$ . The diaphragm thickening index during deep breathing was lower in the CHF group than in the control group: 131.1 (82.5;181.8) vs. 190.9 (150.0;240.0) in the right dome,  $p=0.000004$ ; and 148.8 (112.5;190.3) vs. 175.2 (130.7;227.7) – in the left,  $p=0.03$ , respectively.

Diaphragmatic excursions during quiet breathing were larger in patients with CHF than in healthy controls : 2,3 (1,6;2,8)/1,7 (1,5;1,9),  $p=0,0001$  and 1,8 (1,5;2,2)/1,5 (1,3;1,9),  $p=0,03$  of the right and left domes, respectively.

**Conclusion.** Congestive heart failure contributes to the development of structural and functional impairments of the diaphragm.

**Keywords:** *congestive heart failure; ultrasound examination of the diaphragm; diaphragm; external respiration; diaphragm function; diaphragmatic dysfunction*

**Conflict of interest.** The authors declare no conflict of interest.

**Read the full-text English version at [www.reanimatology.ru](http://www.reanimatology.ru)**

## **Введение**

Хроническая сердечная недостаточность (ХСН), среди прочего, приводит к мышечной дисфункции [1-3], в частности, описаны нарушения работы дыхательной мускулатуры [2, 4, 5] вплоть до развития вентиляционных расстройств [5]. Дисфункция респираторных мышц рассматривается как симптом полиорганной недостаточности при прогрессировании ХСН [1] и ассоциируется с усилением одышки, снижением переносимости физической нагрузки и, наконец, расценивается как предиктор ранней смерти [1, 6-9].

Нарушение работы диафрагмы, как самой активной респираторной мышцы, представляет интерес для анестезиологов-реаниматологов, так как предрасполагает к пролонгации нахождения в отделении интенсивной терапии [10-12], а также может обуславливать выбор метода респираторной поддержки [10, 13]. Между тем современные рекомендации по предоперационной оценке респираторной функции у пациентов с ХСН ограничиваются аускультацией легких [14].

По мнению ряда исследователей, знание особенностей функционального состояния аппарата внешнего дыхания, и диафрагмы в частности, особенно актуально при ХСН, т.к. поможет в перспективе определять стратегию ведения пациентов в отделении интенсивной терапии, в т. ч. выбор параметров неинвазивной и инвазивной вентиляции легких [5, 10, 15].

Притом, что респираторные нарушения при ХСН известны довольно хорошо [2, 4, 5], диафрагмальная дисфункция, особенно оцененная посредством ультразвукового исследования, изучена недостаточно.

Все вышесказанное определяет актуальность изучения работы аппарата внешнего дыхания у пациентов с ХСН как для научной, так и для практической сферы медицины критических состояний.

**Цель.** Выявить структурно-функциональные изменения состояния аппарата внешнего дыхания у пациентов с хронической сердечной недостаточностью.

**Материал и методы.** На базе Национального медицинского исследовательского центра им. В.А. Алмазова в период с 05.2022 по 12.2022 провели одномоментное проспективное описательное исследование нарушений структурного и функционального состояния аппарата внешнего дыхания у пациентов с ХСН. Исследование соответствовало Хельсинской декларации 2000 г. и было одобрено локальным этическим комитетом (протокол заседания от 30.04.2022.)

Критериями включения пациентов в группу с ХСН служило наличие ХСН II-IV функционального класса по NYHA.

Критериями исключения - заболеваний органов системы дыхания, морбидного ожирения, заболеваний органов брюшной полости, анемии (содержание гемоглобина менее 120 г/л).

В исследование включили 118 испытуемых (рис.): 49 пациентов с ХСН и 69 здоровых добровольцев. В группу с ХСН - 11 женщин и 38 мужчин: средний возраст составил  $58,7 \pm 13,5$  лет, масса тела -  $84,7 \pm 18,3$  кг, рост -  $172,8 \pm 8,6$  см, ИМТ -  $28,3 \pm 5,2$  кг/м<sup>2</sup>, страдающие ХСН не менее года с момента установления диагноза. Среди всех пациентов ХСН недостаточность кровообращения II ФК была установлена у 20 человек, III ФК – у 15, IV ФК – у 14. Все они находились в стабильном состоянии и получали комбинированное лечение: иАПФ, бета-блокаторы, диуретики, антагонисты альдостерона, статины. Пациенты с нарушениями ритма сердца (фибрилляцией предсердий) принимали оральные антикоагулянты.

В контрольную группу включили 39 добровольцев женского пола и 30 – мужского, их средний возраст составил  $25,0 \pm 2,1$  лет, масса тела -  $68,56 \pm 15,62$  кг, рост -  $173,4 \pm 10,7$  см, ИМТ-  $22,54 \pm 3,4$  кг/м<sup>2</sup>.

Ультразвуковое исследование (УЗИ) диафрагмы и оценку параметров внешнего дыхания проводили в положении лежа с приподнятым на 30 градусов головным концом кровати – основным положением пациентов в палатах отделения реанимации. Структурное (толщину – Т) и функциональное (экскурсию – Э; индекс сокращения – ИУ) состояние диафрагмы во время спокойного и глубокого вдоха/выдоха оценивали с помощью ультразвукового аппарата Philips CX50 (Philips Ultrasound, Inc, США). В

окончательный анализ включали ультразвуковые параметры, полученные у пациентов только при хорошей визуализации диафрагмы.



**Рис. Схема включения пациентов с ХСН в исследование.**

Функцию внешнего дыхания оценивали с помощью аппарата искусственной вентиляции легких Dräger Evita Infinity V500, Германия, в режиме неинвазивной вентиляции легких. На аппарате устанавливали постоянное положительное давление = 0 мБар, без поддержки давлением, фракцию кислорода на вдохе = 0,21.

Фиксировали дыхательные объемы при спокойном ( $DO_{сп}$ ) и максимально глубоком ( $DO_{гл}$ ) дыхании, время вдоха и выдоха. О «нейрореспираторном драйве» и силе дыхательной мускулатуры судили на основании  $P0.1$  – величине отрицательного давления в дыхательных путях к 100 мсек самостоятельной дыхательной попытки пациента при окклюзии дыхательного контура и минимального давления в дыхательных путях при вдохе из герметично закрытого контура – максимального усилия на вдохе – Negative Inspiratory Force (NIF). С учетом того, что NIF традиционно используется как предиктор готовности к самостоятельному дыханию с порогом успешности отлучения от ИВЛ при значениях меньше -25 – -30 мБар, взятых по модулю [16], превышение этих значений приняли за показатель слабости дыхательной мускулатуры.

Насыщение гемоглобина кислородом оценивали с помощью пульсоксиметра.

Собранные данные обработали статистически с помощью программы STATISTICA-10 и внешнего пакета анализа Real Statistics Resource Pack, дополняющего стандартные возможности Microsoft Excel.

На этапе планирования с помощью опции Power Analysis программы STATISTICA-10 рассчитали, что для достижения 80% мощности необходимо включение в выборку не менее 100 испытуемых.

После проведения пилотного исследования расчеты показали минимально необходимое количество испытуемых — 28 человек в исследуемой группе. В конечном итоге в исследование включили 49 человек, что обеспечивало мощность, равную 0,9.

Пилотное исследование провели в соответствии с методологией полного исследования с целью подтверждения теоретической предпосылки – диафрагма отличается у пациентов с ХСН; выявления на раннем этапе показателей с наибольшим отличием; определения включения минимально-необходимого количества испытуемых. Сначала выявили наиболее отличающиеся показатели – толщину диафрагмы, набрав минимально необходимое для статистических расчетов количество наблюдений по критерию Манна-Уитни – 3 здоровых и 5 пациентов с ХСН. Далее увеличили группы до 10 каждую и провели расчет выборки для полного исследования. После получения результатов и статистической обработки на начальном этапе, продолжили исследование в полном объеме.

Характер распределения оценивали посредством критериев Колмогорова-Смирнова и Шапиро-Уилка. Сравнение независимых групп осуществляли с помощью критерия Манна-Уитни. Данные представили в виде медианы (Me), нижнего и верхнего квартилей (Q1; Q3). Значимыми различия принимали при  $p \leq 0,05$ .

## **Результаты**

Полученные результаты представили в таблицах 1-6.

Как видно из таблицы 1, пациенты с ХСН были старше, имели большие массу тела и ИМТ. Как видно из таблицы 2, у пациентов с ХСН регистрировали большую ЧДД, меньшие показатели времени вдоха, выдоха,  $DO_{гл}$  и силы вдоха. Кроме того, у больных ХСН выявили меньшее насыщение гемоглобина кислородом, хотя показатели  $SpO_2$  оставались в референсном диапазоне.

**Таблица 1. Антропометрические показатели исследуемых групп, медиана (Q1; Q3).**

Показатели	Значения показателей в группах		P
	Здоровые испытуемые, n=69	Пациенты с ХСН, n=49	
Возраст, лет	25,0 (24,0;26,0)	59,0 (53,0;70,0)	0,000001 *
Масса тела, кг	68,5 (55,0;84,0)	82,0 (73,0;95,0)	0,000005*
Рост, см	170,0 (165,0;183,0)	173,0 (166,0;179,0)	0,97
ИМТ кг/м <sup>2</sup>	21,8 (19,9;24,0)	28,4 (24,3;31,3)	0,000001*

**Примечание.** ИМТ – индекс массы тела. \* – статистически значимые отличия ( $p \leq 0,05$ , критерий Манна-Уитни).

**Таблица 2. Оценка параметров функции внешнего дыхания, медиана (Q1; Q3).**

Показатели	Значения показателей в группах		P
	Здоровые испытуемые, n=69	Пациенты с ХСН, n=49	
Частота дыхательных движений	13 (11;15)	15 (13;17,5)	0,0009*
ДО <sub>сд</sub> , мл	560,0 (493,5;678,0)	548,0 (450,0;666,0)	0,37
Время вдоха, с	1,5 (1,3;1,6)	1,3 (1,1;1,4)	0,0001*
Время выдоха, с	3,0 (2,5;3,7)	2,8 (2,3;3,1)	0,008*
ДО <sub>гд</sub> , мл	3684,1 (3392,5;4310,8)	3000,0 (2300,0;4000,0)	0,0006*
SpO <sub>2</sub> , %	99 (99;99)	97,4 (97,0;98,0)	0,000001*
P 0.1, мБар	-2,1 (-3,0; -1,5)	-1,3 (-1,8; -0,9)	0,000003*
Максимальная сила вдоха, мБар	-53,5 (-58,8; -50,9)	-43,1 (-56,7; -33,0)	0,000082*

**Примечание.** ДО — дыхательный объем. Для табл. 2, 4-6: сд – спокойное дыхание; гд – глубокое дыхание. P0.1 (occlusion pressure at 100 ms) – снижение давления в дыхательных путях в первые 100 мс. \* – статистически значимые отличия ( $p \leq 0,05$ , критерий Манна-Уитни).

**Таблица 3. Оценка толщина диафрагмы, медиана (Q1; Q3).**

Показатели	Значения показателей в группах		P
	Здоровые испытуемые, n=69	Пациенты с ХСН, n=49	
T <sub>с-Вд.</sub> , справа, мм	1,9 (1,5;2,2)	3,0 (2,2;3,6)	0,000001*
T <sub>с-Выд.</sub> , справа, мм	1,5 (1,2;1,7)	2,2 (1,8;2,9)	0,000001*
T <sub>г-Вд.</sub> , справа, мм	4,4 (3,6;5,1)	5,1 (4,4;6,1)	0,0005*
T <sub>г-Выд.</sub> , справа, мм	1,1 (1,0;1,4)	1,7 (1,3;1,9)	0,000001*
T <sub>с-Вд.</sub> , слева, мм	1,7 (1,4;2,0)	3,0 (2,4;3,5)	0,000001*
T <sub>с-Выд.</sub> , слева, мм	1,4 (1,2;1,5)	2,0 (1,7;2,5)	0,000001*
T <sub>г-Вд.</sub> , слева, мм	3,7 (3,1;4,8)	4,9 (4,2;6,2)	0,000007*
T <sub>г-Выд.</sub> , слева, мм	1,1 (0,9;1,2)	1,6 (1,3;2,0)	0,000001*
TF <sub>с-Вд.</sub> , справа, %	27,8 (20,0;35,0)	30,4 (17,9;44,8)	0,38
TF <sub>г-Вд.</sub> , справа, %	190,9 (150,0;240,0)	131,1 (82,5;181,8)	0,000004*
TF <sub>с-Вд.</sub> , слева, %	23,6 (18,3;33,0)	40,9 (28,5;59,8)	0,000002*
TF <sub>г-Вд.</sub> , слева, %	175,2 (130,7;227,7)	148,8 (112,5;190,3)	0,03*



**Примечание.** Т – толщина; TF (thickening fraction) – индекс утолщения; с – спокойный; г – глубокий; Вд. – вдох; Выд. – выдох. \* – статистически значимые отличия ( $p \leq 0,05$ , критерий Манна-Уитни).

Как видно из таблицы 3, диафрагма у пациентов с ХСН была значимо толще при спокойном и глубоком дыхании, тогда как индекс утолщения, напротив, – меньше при глубоком дыхании.

**Таблица 4. Оценка смещения диафрагмы (экскурсии) в см, медиана (Q1; Q3).**

Показатели	Значения показателей в группах		P
	Здоровые испытуемые	Пациенты с ХСН	
Число испытуемых	69	49	-
Е <sub>сд</sub> , справа	1,7 (1,5;1,9)	2,3 (1,6;2,8)	0,0001*
Е <sub>гд</sub> , справа	6,9 (6,0;8,0)	6,9 (5,8;9,1)	0,67
Число испытуемых	29	34	-
Е <sub>сд</sub> , слева	1,5 (1,3;1,9)	1,8 (1,5;2,2)	0,03*
Число испытуемых	29	26	-
Е <sub>гд</sub> , слева	6,0 (5,3;6,9)	5,8 (4,5;7,3)	0,41

**Примечание.** Е (excursion) – экскурсия. \* – статистически значимые отличия ( $p \leq 0,05$ , критерий Манна-Уитни).

Как видно из таблицы 4, во время спокойного дыхания более значимое смещение диафрагмы отмечали у пациентов с ХСН, тогда как при глубоком дыхании отличий не выявили. Визуализация диафрагмы слева была не всегда осуществима, что объясняет меньшее число испытуемых, включенных в статистическую обработку.

**Таблица 5. Временные показатели смещения (экскурсии) диафрагмы в сек, медиана (Q1; Q3).**

Показатели	Значения показателей в группах		P
	Здоровые испытуемые	Пациенты с ХСН	
Число испытуемых	69	49	
L <sub>Сокр./сд</sub> , справа	1,4 (1,1;1,7)	1,2 (1,0;1,4)	0,029*
L <sub>Рассл./сд</sub> , справа	1,4 (1,2;1,4)	1,1 (0,9;1,4)	0,003*
L <sub>Сокр./гд</sub> , справа	2,2 (1,9;2,8)	1,9 (1,5;2,3)	0,001*
L <sub>Рассл./гд</sub> , справа	2,4 (2,0;2,7)	1,8 (1,2;2,6)	0,00002*
Число испытуемых	29	34	
L <sub>Сокр./сд</sub> , слева	1,4 (1,1;1,6)	1,2 (1,0;1,4)	0,02*
L <sub>Рассл./сд</sub> , слева	1,4 (1,1;1,7)	1,0 (0,9;1,4)	0,007*
Число испытуемых	29	26	
L <sub>Сокр./гд</sub> , слева	2,2 (1,8;2,8)	1,9 (1,5;2,3)	0,08
L <sub>Рассл./гд</sub> , слева	2,4 (2,0;2,7)	1,8 (1,2;2,6)	0,01*

**Примечание.** L (Length) – продолжительность; Сокр. – сокращения; Рассл. – расслабление. \* – статистически значимые отличия ( $p \leq 0,05$ , критерий Манна-Уитни)

Как видно из таблицы 5, время кранио-каудального (сокращение) и каудально-краниального (расслабление) движения диафрагмы при спокойном и глубоком дыхании у пациентов с ХСН было меньшим, чем у здоровых испытуемых.

**Таблица 6. Скоростные показатели смещения (экскурсии) диафрагмы в см/сек, медиана (Q1; Q3).**

Показатели	Значения показателей в группах		P
	Здоровые испытуемые	Пациенты с ХСН	
Число испытуемых	69	49	-
R.Сокр./сд, справа	1,0 (0,8;1,3)	1,8 (1,3;2,3)	0,000001*
R.Рассл./сд, справа	1,1 (0,9;1,4)	1,8 (1,3 (2,3)	0,000001*
R.Сокр./гд, справа	3,3 (2,4;4,5)	2,7 (1,2; 3,4)	0,7
R.Рассл./гд, справа	2,9 (2,0;3,5)	3,4 (2,7;5,2)	0,001*
Число испытуемых	29	34	
R.Сокр./сд, слева	1,2 (0,9;1,7)	1,7 (1,3;2,3)	0,03*
R.Рассл./сд, слева	1,3 (0,9;1,8)	1,7 (1,3;2,3)	0,02*
Число испытуемых	29	26	
R.Сокр./гд, слева	2,6 (2,2;3,0)	2,7 (1,9;4,0)	0,7
R.Рассл./гд, слева	2,8 (2,1;2,9)	3,3 (2,0;4,1)	0,08

**Примечание.** R (Rate) – скорость. \* – статистически значимые отличия ( $p \leq 0,05$ , критерий Манна-Уитни).

Как видно из таблицы 6, скорость кранио-каудального и каудально-краниального смещения диафрагмы с обеих сторон при спокойном вдохе была выше в группе пациентов с ХСН. При глубоком дыхании во время выдоха у них быстрее смещалась только правая половина диафрагмы; слева наблюдали лишь тенденцию к более быстрому смещению.

## Обсуждение

Диафрагма наряду с миокардом – практически непрерывно работающая мышца, что объясняет значительный объем потребления ею кислорода [17] и определяет значительную чувствительность к избыточной или недостаточной нагрузке, а также – к доставке кислорода [18]. ХСН приводит к снижению доставки кислорода, в том числе и к респираторным мышцам, в частности – к диафрагме [5]. Полученные данные отражают значимое отличие практически всех показателей, как спирометрической оценки внешнего дыхания, так и ультразвуковых характеристик структурно-функционального состояния диафрагмы у пациентов с ХСН по сравнению со здоровыми людьми.

Выявленное меньшее насыщение гемоглобина кислородом у больных ХСН явилось ожидаемым результатом [19]. Повышенная ЧДД при спокойном дыхании в группе пациентов с хронической сердечной недостаточностью позволяла компенсировать сниженный дыхательный объем [20]. Однако при глубоком дыхании выявили более выраженные структурные и скоростно-временные нарушения, что

демонстрирует снижение резервов работы аппарата внешнего дыхания [19, 20-22], вероятно, вследствие динопии [21, 22], и формирования рестриктивного типа дыхательной недостаточности при ХСН [19, 22, 23].

Сила респираторных мышц на вдохе была значимо слабее в группе больных ХСН. P0.1 рассматривается в качестве показателя респираторного драйва, что не вполне эквивалентно собственно силе дыхательной мускулатуры [22, 24], поэтому его трактовка требует осторожности. Исследователи не находят изменений P0.1 у пациентов с ХСН [22, 23], что в определенной степени подтверждается и полученными данными: несмотря на то, что P0.1 у пациентов с ХСН было значимо меньше (по модулю), чем у здоровых, в абсолютном исчислении параметр не выходил за рамки референсного диапазона, что может трактоваться как отсутствие выраженных нарушений нейрореспираторного драйва. Выявленное снижение модульных значений NIF у пациентов с ХСН по сравнению со здоровыми было ожидаемо и согласуется с данными других исследований [1, 21, 22, 25].

Ультразвуковые структурные (толщина) показатели диафрагмы были значимо больше у пациентов с ХСН с обеих сторон, как при спокойном, так и максимально глубоком вдохе и выдохе. Это не согласуется с результатами Spiesshoefer J. с соавт [25], где отличий по толщине диафрагмы в конце спокойного выдоха у здоровых людей и пациентов ХСН выявлено не было; толщина диафрагмы при глубоком дыхании, напротив, у здоровых оказалась больше [25]. В свою очередь, Miyagi M. с соавт. [21], отмечали большую толщину диафрагмы у пациентов с более низкой фракцией левого желудочка, что согласуется с результатами настоящего исследования.

Spiesshoefer J. с соавт. показали, что при спокойном дыхании индекс утолщения диафрагмы у пациентов с ХСН меньше, чем у здоровых испытуемых [25]. Полученные данные согласуются с этим заключением, однако только при максимально глубоком вдохе, причем при визуализации как правой, так и левой половины диафрагмы. В целом, сравнивать величину утолщения диафрагмы достаточно проблематично, т.к. ее расчет может проводиться по разным формулам [25, 26].

Предположение о том, что экскурсия диафрагмы в группе пациентов с ХСН снизится, вне зависимости от глубины дыхания, не подтвердилось [27]. Амплитуда движения диафрагмы при спокойном дыхании не отличалась у здоровых испытуемых и пациентов с ХСН и сохраненной фракцией выброса, тогда как при глубоком дыхании – у пациентов со сниженной фракцией была значимо ниже [25].

Полученные данные отличаются от приведенных выше результатов: экскурсия диафрагмы при спокойном дыхании и справа и слева была значимо больше в группе пациентов с ХСН, чем в контрольной группе, тогда как при глубоком дыхании – не различалась значимо между группами. Возможно, что для поддержания эффективного дыхательного объема в покое пациенты с ХСН уже выполняют относительно *большую* работу, т.е. у них возрастает «метаболическая и физиологическая цена» дыхания.

Скоростно-временные показатели экскурсии диафрагмы изучены мало. Авторы ранее упомянутого исследования [25] не выявили изменений скорости смещения диафрагмы при спокойном вдохе у больных с ХСН. По нашим данным, в группе ХСН время смещения диафрагмы на вдохе и выдохе при спокойном и глубоком дыхании с обеих сторон уменьшалось, а скорость, соответственно, увеличивалась.

Выявленное повышение временно-скоростных характеристик на вдохе может объясняться не улучшенной работой диафрагмы, а «включением» вспомогательных инспираторных мышц, а также редукцией возможности «удерживать вдох» за счет динапении – снижения мышечной силы при сохраненной мышечной массе. Повышение временно-скоростных характеристик на выдохе может объясняться повышением эластической тяги легких.

Все изменения в работе аппарата внешнего дыхания при ХСН, предположительно, носили компенсаторный характер и объясняются рядом патофизиологических механизмов. Хроническая сердечная недостаточность за счет формирования интерстициального отека легких приводит к повышению эластической тяги (т.е. снижению податливости) легких и ригидности грудной клетки [25, 28]. Вероятно, эти изменения приводят к повышению нагрузки на диафрагму на вдохе из-за необходимости преодоления сниженной легочной податливости, что в итоге обуславливает развитие ее гипертрофии.

Однако эти предположения не согласуются с данными литературы, где изучение аутопатов диафрагмы показало снижение массы мышечной ткани и замещение ее соединительной и жировой [29]. Другое предположение состоит в том, что диафрагма увеличивается за счет отека. Как бы то ни было, имеющиеся в литературе данные [5, 6, 8, 25, 27] противоречивы, ограничены малыми выборками и указаниями на необходимость расширения исследований в этом направлении.

**Наше исследование имело ряд ограничений** – во-первых, пациенты с ХСН были старше и имели *большую* массу тела. Таким образом, нельзя утверждать, что полученные результаты обусловлены только наличием ХСН. Во-вторых, все пациенты

находились в относительно компенсированном состоянии, тогда как наибольших изменений спирометрических и ультразвуковых показателей, вероятно, следует ожидать при наличии очевидной дыхательной недостаточности. Наконец, функциональный класс – достаточно динамический критерий тяжести пациентов ХСН и изменение функциональной характеристики пациента за короткий период времени может сказываться на получаемых результатах.

## **Заключение**

Анатомо-физиологические обоснования позволяют предполагать, что хроническая сердечная недостаточность вносит вклад в развитие структурно-функциональных нарушений в работе основной дыхательной мышцы – диафрагмы. Ее утолщение, изменение амплитуды кранио-каудального и каудально-краниального смещения, скоростно-временных показателей отражают снижение функциональных резервов аппарата внешнего дыхания.

Уменьшается сила мышечного сокращения, что приводит к снижению дыхательного объема и, как следствие, повышению частоты дыхательных движений – т.е. паттерн дыхания меняется в сторону более поверхностного и учащенного.

Такое изменение респираторного паттерна, характерное в целом для больных хронической сердечной недостаточностью, дает основание предположить, что выявленные структурно-функциональные отличия параметров работы диафрагмы также являются скорее результатом ХСН, нежели возраста. Уточнение вклада ХСН в функционирование диафрагмы требует дальнейших исследований.

## **Литература**

1. Швайко С.Н. Клиническое значение диагностики дисфункции респираторной мускулатуры у больных хронической обструктивной болезнью легких и хронической сердечной недостаточностью. *Российский медико-биологический вестник имени академика И.П.Павлова*. 2006;4:69-74. [Shvaiko S.N. Klinicheskoe znachenie diagnostiki disfunktsii respiratornoi muskulatury u bol'nykh khronicheskoi obstruktivnoi bolezni'yu legkikh i khronicheskoi serdechnoi nedostatochnost'yu / Rossiiskii mediko-biologicheskii vestnik imeni akademika I.P.Pavlova, 2006;4:69-74. (In Russ.)]
2. Anker S. D., Ponikowski P., Varney S., Chua T. P., Clark A. L., Webb-Peploe K. M., Harrington D., Kox W. J., Poole-Wilson P. A., Coats A. J. Wasting as independent risk

factor for mortality in chronic heart failure. *Lancet*. 1997;349:1050–1053. PMID: 9107242 DOI: 10.1016/S0140-6736(96)07015-8

3. Coats A.J. The “muscle hypothesis” of chronic heart failure. *J Mol Cell. Cardiol*. 1996;28:2255–2262. PMID: 8938579 DOI: 10.1006/jmcc.1996.0218

4. Meyer F. J., Zugck C., Haass M., Otterspoor L., Strasser R. H., Kübler W., Borst M. M. Inefficient ventilation and reduced respiratory muscle capacity in congestive heart failure. *Basic Res Cardiol*. 2000;95:333–342. PMID: 11005589 DOI: 10.1007/s003950070053

5. McParland C., Krishnan B., Wang Y., Gallagher C. G. Inspiratory muscle weakness and dyspnea in chronic heart failure. *Am Rev Respir Dis*. 1992;146:467–72. PMID: 1489142 DOI: 10.1164/ajrccm/146.2.467

6. Соломонова Л.Н., Сторожаков Г.В., Гендлин Г.Е., Мелехов А.В., Светлаков В.И. Состояние системы внешнего дыхания у пациентов с хсн. *Российский кардиологический журнал*. 2006;:88-94. [Solomonova L.N., Storozhakov G.V., Gendlin G.E., Melekhov A.V., Svetlakov V.I. Sostoyanie sistemy vneshnego dykhaniya u patsientov s khsn. Rossiiskii kardiologicheskii zhurnal. 2006;:88-94. (In Russ.)]

7. Nishimura Y., Maeda H., Tanaka K., Nakamura H., Hashimoto Y., Yokoyama M. Respiratory muscle strength and hemodynamics in chronic heart failure. *Chest*. 1994;105(2):355-359. PMID: 8306727 DOI: 10.1378/chest.105.2.355

8. Daganou M., Dimopoulou I., Alivizatos P.A., Tzelepis G.E. Pulmonary function and respiratory muscle strength in chronic heart failure: comparison between ischaemic and idiopathic dilated cardiomyopathy. *Heart*. 1999;81(6):618-620. PMID: 10336921 DOI: 10.1136/hrt.81.6.618

9. Enright P.L., Kronmal R.A., Manolio T.A., Schenker M.B., Hyatt R.E. Respiratory muscle strength in the elderly. Correlates and reference values. Cardiovascular Health Study Research Group. *Am J Respir Crit Care Med*. 1994;149(2Pt1):430-438. PMID: 8306041 DOI: 10.1164/ajrccm.149.2.8306041

10. Паромов К.В., Свирский Д.А., Киров М.Ю. Лечение дисфункции диафрагмы в послеоперационном периоде кардиохирургического вмешательства: обзор литературы и клинический случай. *Вестник интенсивной терапии им. А.И. Салтанова*. 2022;3:57–68. [Paromov K.V., Svirskii D.A., Kirov M.Yu. Treatment option for diaphragm dysfunction after cardiac surgery: a review and a clinical case. *Annals of Critical Care*. 2022;3:57–68. (In Russ.)] DOI:10.21320/1818-474X-2022-3-57-68

11. Lu Z., Xu Q., Yuan Y., Zhang G., Guo F., Ge H. Diaphragmatic Dysfunction Is Characterized by Increased Duration of Mechanical Ventilation in Subjects With Prolonged Weaning. *Respir Care*. 2016;61(10):1316-1322. PMID: 27682813 DOI:10.4187/respcare.04746
12. Бабаев М.А., Быков Д.Б., Бирг Т.М., Выжигина М.А., Еременко А.А. ИВЛ-индуцированная дисфункция диафрагмы (обзор). *Общая реаниматология*. 2018;14(3):82-103. [Babaev M.A., Bykov D.B., Birg T.M., Vyzhigina M.A., Eremenko A.A. Ventilator-Induced Diaphragm Dysfunction (Review). *General Reanimatology*. 2018;14(3):82-103. (In Russ.)] <https://doi.org/10.15360/1813-9779-2018-3-82-103>
13. Урясьев О. М., Глотов С. И., Пономарева И. Б., Алмазова Е. В., Жукова Л. А., Алексеева Е. А. Дисфункция диафрагмы. *Медицинский вестник Северного Кавказа*. 2022;17(3):317-322 [Uryasev O. M., Glotov S. I., Ponomareva I. B., Almazova E. V., Zhukova L. A., Alekseeva E. A. Dysfunction of the diaphragm. *Medical News of North Caucasus*. 2022;17(3):317-322 (In Russ.)] DOI: <https://doi.org/10.14300/mnnc.2022.17079>
14. Заболотских И.Б., Баутин А.Е., Замятин М.Н., Лебединский К.М., Потиевская В.И., Трембач Н.В. Периоперационное ведение пациентов с хронической сердечной недостаточностью. *Анестезиология и реаниматология*. 2021;(3):6 27. Zabolotskikh IB, Bautin AE, Zamyatin MN, Lebedinskii KM, Potievskaya VI, Trembach NV. Perioperative management of patients with heart failure. *Russian Journal of Anesthesiology and Reanimatology*. 2021;(3):6 27. (In Russ.) <https://doi.org/10.17116/anaesthesiology20210316>
15. Ухолкина Г.Б. Оксигенотерапия при сердечно-сосудистых заболеваниях и инфекции COVID-19. *РМЖ*. 2020;11:14-18. [Ukholkina G.B. Oxygen therapy for cardiovascular diseases and COVID-19 infection. *RMJ*. 2020;11:14–18. (In Russ.)]
16. Vu P.H., Tran V.D., Duong M.C., Cong Q.T., Nguyen T. Predictive value of the negative inspiratory force index as a predictor of weaning success: a crosssectional study. *Acute Crit Care*. 2020;35(4):279-285. PMID: 33423439 DOI: 10.4266/acc.2020.00598
17. Poole D.C., Sexton W.L., Farkas G.A., Powers S.K., Reid M.B. Diaphragm structure and function in health and disease. *Med Sci Sports Exerc*. 1997;29(6):738-754. PMID: 9219201 DOI: 10.1097/00005768-199706000-00003
18. Schepens T., Dres M., Heunks L., Goligher E.C. Diaphragm-protective mechanical ventilation. *Curr Opin Crit Care*. 2019;25(1):77-85. PMID: 30531536 DOI: 10.1097/MCC.0000000000000578
19. Шулькина С.Г., Кортаева А.Э., Овсяникова А.В. Использование пульсоксиметра для ранней диагностики нарушений сатурации крови кислородом у

больных с ХСН. *Международный научно-исследовательский журнал*. 2015;8-3(39):128-130. [Shul'kina S.G., Korotaeva A.E., Ovsyanikova A.V. Ispol'zovanie pul'soksimetra dlya rannei diagnostiki narushenii saturatsii krovi kislorodom u bol'nykh s KhSN. *Mezhdunarodnyi nauchno-issledovatel'skii zhurnal*. 2015;8-3(39):128-130. (In Russ.)]

20. Шилов А.М., Мельник М.В., Чубаров М.В., Грачев С.П., Бабченко П.К. Нарушения функции внешнего дыхания у больных с хронической сердечной недостаточностью. *PMЖ*. 2004;15:912-917. [Shilov A.M., Mel'nik M.V., Chubarov M.V. i dr. Narusheniya funktsii vneshnego dykhaniya u bol'nykh s khronicheskoi serdechnoi nedostatochnost'yu. *RMZh*. 2004;15:912. (In Russ.)]

21. Miyagi M., Kinugasa Y., Sota T., Yamada K., Ishisugi T., Hirai M., Yanagihara K., Haruki N., Matsubara K., Kato M., Yamamoto K. Diaphragm Muscle Dysfunction in Patients With Heart Failure. *J Card Fail*. 2018;24(4):209-216. PMID: 29289723 DOI: 10.1016/j.cardfail.2017.12.004

22. Meyer F. J., Borst M. M., Zugck C., Kirschke A., Schellberg D., Kübler W., Haass M. Respiratory muscle dysfunction in congestive heart failure: clinical correlation and prognostic significance. *Circulation*. 2001;103(17):2153-2158. PMID: 11331255 DOI: 10.1161/01.cir.103.17.2153

23. Kee K., Naughton M.T. Heart failure and the lung. *Circ J*. 2010;74(12):2507-2516. PMID: 21041971 DOI: 10.1253/circj.cj-10-0869

24. Шурыгин И.А. Искусственная вентиляция легких как медицинская технология. – М.: Издательский дом БИНОМ, 2020:630. ISBN 978-5-6042641-1-9 [Shurygin I.A. *Iskusstvennaya ventilyatsiya legkikh kak meditsinskaya tekhnologiya*. – М.: Izdatel'skii dom BINOM, 2020:630. ISBN 978-5-6042641-1-9 (In Russ.)]

25. Spiesshoefer J., Henke C., Kabitz H. J., Bengel P., Schütt K., Nofer J. R., Spieker M., Orwat S., Diller G. P., Strecker J. K., Giannoni A., Dreher M., Randerath W. J., Boentert M., Tuleta I. Heart Failure Results in Inspiratory Muscle Dysfunction Irrespective of Left Ventricular Ejection Fraction. *Respiration*. 2021;100(2):96-108. PMID: 33171473 DOI: 10.1159/000509940

26. Неклюдова Г.В., Авдеев С.Н. Возможности ультразвукового исследования диафрагмы. *Терапевтический архив*. 2019; 91 (3): 86–92. [Neklyudova G.V., Avdeev S.N. Possibilities of ultrasound research of the diaphragm // *Terapevticheskii arkhiv*. - 2019. - Vol. 91. - N. 3. - P. 86-92. (In Russ.)] <https://doi.org/10.26442/00403660.2019.03.000129>

27. Andriopoulou M., Dimaki N., Kallistratos M. S., Chamodraka E., Jahaj E., Vassiliou A. G., Giokas G., Kotanidou A., Manolis A. J., Piepoli M. F., Filippatos G. Skeletal



muscle alterations and exercise intolerance in heart failure with preserved ejection fraction patients: ultrasonography assessment of diaphragm and quadriceps. *Eur J Heart Fail.* 2022;24(4):729-731. PMID: 35229401 DOI: 10.1002/ejhf.2462

28. Беграмбекова Ю.Л., Каранадзе Н.А., Орлова Я. А. Нарушение системы дыхания при хронической сердечной недостаточности. *Кардиология.* 2019;59(S2):15-24. [Begrambekova Yu.L., Karanadze N.A., Orlova Y.A. Alterations of the respiratory system in heart failure. *Kardiologiya.* 2019;59(2S):15-24. (In Russ.)] DOI: 10.18087/cardio.2626

29. Арутюнов А. Г., Ильина К. В., Арутюнов Г. П., Колесникова Е. А., Пчелин В. В., Кулагина Н. П., Токмин Д. С., Тулякова Э. В. Морфофункциональные особенности диафрагмы у больных с хронической сердечной недостаточностью. *Кардиология.* 2019;59(1):12–21. [Arutyunov A. G., Ilyina K. V., Arutyunov G. P., Kolesnikova E. A., Pchelin V. V., Kulagina N. P., Tokmin D. S., Tulyakova E. V. Morphofunctional Features of the Diaphragm in Patients With Chronic Heart Failure. *Kardiologiya.* 2019;59(1):12–21 (In Russ.)]. DOI: 10.18087/cardio.2019.1.2625

**Поступила 19.05.2023**

**Принята 16.08.2023**