Анестезиология и реаниматология
2023, №5, с. 44–51
https://doi.org/10.17116/anaesthesiology202305144

Russian Journal of Anaesthesiology and Reanimatology
2023, No. 5, pp. 44–51
https://doi.org/10.17116/anaesthesiology202305144

Диафрагмальная дисфункция у пациентов с хронической сердечной недостаточностью

© В.С. ШАБАЕВ, И.В. ОРАЗМАГОМЕДОВА, В.А. МАЗУРОК, А.В. БЕРЕЗИНА, А.Е. БАУТИН, Л.Г. ВАСИЛЬЕВА, Д.А. АЛЕКСАНДРОВА

ФГБУ «Национальный медицинский исследовательский центр им. В.А. Алмазова» Минздрава России, Санкт-Петербург, Россия

РЕЗЮМЕ

Цель исследования. Выявить диафрагмальную дисфункцию у пациентов с хронической сердечной недостаточностью (ХСН) на основе оценки структурно-функционального состояния аппарата внешнего дыхания.

Материал и методы. Исследование выполнено на базе ФГБУ «НМИЦ им. В.А. Алмазова» Минздрава России. Включены 58 испытуемых: 40 пациентов с ХСН (исследуемая группа) и 18 пациентов без ХСН (контрольная группа). Критерий включения в исследуемую группу: наличие ХСН II—IV функционального класса по NYHA. Критерии исключения для обеих групп: патология легких, морбидное ожирение, заболевания органов брюшной полости, анемия. Выполняли ультразвуковую оценку структурного (толщина) и функционального (индекс утолщения и экскурсия) состояния диафрагмы во время спокойного и глубокого вдоха/выдоха. Функцию внешнего дыхания оценивали с помощью спирометрических ресурсов аппарата искусственной вентиляции легких.

Результаты. У пациентов с ХСН выявлена более толстая диафрагма с обеих сторон и меньший объем максимально глубокого вдоха. Индекс утолщения диафрагмы, напротив, статистически значимо меньше справа при глубоком вдохе. При спокойном дыхании у пациентов с ХСН экскурсия правого и левого куполов диафрагмы больше, тогда как при глубоком вдохе статистически значимые различия не выявлены. Выявлена заметная прямая линейная корреляция между ХСН и толщиной диафрагмы с обеих сторон при спокойном вдохе.

Заключение. Структурная и функциональная дисфункция диафрагмы вносит вклад в формирование дыхательной недостаточности у пациентов с хронической сердечной недостаточностью.

Ключевые слова: *диафрагмальная дисфункция, хроническая сердечная недостаточность, ультразвуковое исследование диафрагмы, диафрагма, функция легких, функция диафрагмы.*

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ:
Шабаев В.С. — https://orcid.org/0000-0002-5336-003X
Оразмагомедова И.В. — https://orcid.org/0000-0001-9629-4450
Мазурок В.А. — https://orcid.org/0000-0003-3917-0771
Березина А.В. — https://orcid.org/0000-0002-5770-3845
Баутин А.Е. — https://orcid.org/0000-0001-5031-7637
Васильева Л.Г. — https://orcid.org/0000-0001-9611-9222
Александрова Д.А. — https://orcid.org/0000-0002-0734-7344
Автор, ответственный за переписку: Шабаев В.С. — e-mail: shabaev_vitaliy@mail.ru

КАК ЦИТИРОВАТЬ:
Шабаев В.С., Оразмагомедова И.В., Мазурок В.А., Березина А.В., Баутин А.Е., Васильева Л.Г., Александрова Д.А. Диафрагмальная дисфункция у пациентов с хронической сердечной недостаточностью. *Анестезиология и реаниматология*. 2023;5:44–51.
https://doi.org/10.17116/anaesthesiology202305144

Diaphragmatic dysfunction in patients with chronic heart failure

© V.S. SHABAEV, I.V. ORAZMAGOMEDOVA, V.A. MAZUROK, A.V. BEREZINA, A.E. BAUTIN, L.G. VASILYEVA, D.A. ALEKSANDROVA

Almazov National Medical Research Centre, St. Petersburg, Russia

ABSTRACT

Objective. To detect diaphragmatic dysfunction in patients with chronic heart failure (CHF) via assessment of structural and functional state of external respiration.

Material and methods. The study was conducted at the Almazov National Medical Research Center and included 58 subjects. There were 40 patients with CHF and 18 ones without CHF (control group). Inclusion criterion for the main group was CHF NYHA class II—IV. Exclusion criteria for both groups were pulmonary diseases, morbid obesity, abdominal diseases and anemia. We performed ultrasonic assessment of structural (thickness) and functional (thickening fraction and excursion) state of diaphragm under calm and deep inhalation/exhalation. External respiration was assessed using spirometry functions of a ventilator.

Results. Patients with CHF had a thicker diaphragm on both sides and smaller volume of deep inhalation. Diaphragm thickening index was significantly less under deep inhalation on the right. Patients with CHF had a larger excursion of the right and left domes

of the diaphragm under calm breathing, whereas no significant differences were found under deep breathing. We found a moderate positive linear correlation between CHF and diaphragm thickness on both sides under calm inhalation.
Conclusion. Structural and functional diaphragmatic dysfunction makes a contribution to respiratory failure in patients with CHF.

Keywords: *diaphragmatic dysfunction, chronic heart failure, sonography of diaphragm, diaphragm, lung function, diaphragmatic function.*

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS:
Shabaev V.S. — https://orcid.org/0000-0002-5336-003X
Orazmagomedova I.V. — https://orcid.org/0000-0001-9629-4450
Mazurok V.A. — https://orcid.org/0000-0003-3917-0771
Berezina A.V. — https://orcid.org/0000-0002-5770-3845
Bautin A.E. — https://orcid.org/0000-0001-5031-7637
Vasilyeva L.G. — https://orcid.org/0000-0001-9611-9222
Aleksandrova D.A. — https://orcid.org/0000-0002-0734-7344
Corresponding author: Shabaev V.S. — e-mail: shabaev_vitaliy@mail.ru

TO CITE THIS ARTICLE:
Shabaev VS, Orazmagomedova IV, Mazurok VA, Berezina AV, Bautin AE, Vasilyeva LG, Aleksandrova DA. Diaphragmatic dysfunction in patients with chronic heart failure. *Russian Journal of Anaesthesiology and Reanimatology = Anesteziologiya i Reanimatologiya*. 2023;5:44–51. (In Russ.). https://doi.org/10.17116/anaesthesiology202305144

Введение

Диафрагмальная дисфункция представляет интерес для реаниматологов, так как предрасполагает к пролонгации пребывания пациента в отделении интенсивной терапии [1], а также может обусловливать выбор метода респираторной поддержки: от оксигенотерапии до протезирования функции внешнего дыхания [2, 3]. Прогрессирование хронической сердечной недостаточности (ХСН) приводит к дисфункции респираторных мышц и рассматривается как симптом полиорганной недостаточности [4]. Описаны вентиляционные нарушения вследствие саркопении (потери мышечной массы) и динопении (потери силы мышц без снижения мышечной массы) [5, 6], а также формирование рестриктивного типа дыхательной недостаточности (ДН) при ХСН [6—9]. Отмечается, что снижение силы респираторных мышц не зависит от этиологии формирования ХСН [10]. Нарушение функции внешнего дыхания при ХСН отмечается многими исследователями [7, 10—13], при этом изменений нейрореспираторного драйва у больных с ХСН не находят [10], однако описаны морфологические изменения в респираторных мышцах, в частности в диафрагме [7, 9, 14—16].

В целом интерес к изменению структурного и функционального состояния респираторных мышц по данным ультразвукового исследования (УЗИ) у пациентов с разной патологией увеличивается [14, 16, 17], однако данные о состоянии диафрагмальной функции у пациентов с ХСН носят противоречивый характер.

Цель исследования — выявить диафрагмальную дисфункцию у пациентов с ХСН на основе оценки структурно-функционального состояния аппарата внешнего дыхания.

Материал и метод

На базе ФГБУ «НМИЦ им. В.А. Алмазова» Минздрава России проведено одномоментное проспективное исследование нарушений структурного (УЗИ диафрагмы) и функционального (спирометрия) состояния аппарата внешнего дыхания у пациентов с ХСН. Исследование одобрено локальным этическим комитетом (протокол заседания от 30.04.2022).

В исследование включили 58 испытуемых: 40 пациентов с ХСН (исследуемая группа; женщин — 8, мужчин — 32) и 18 пациентов без ХСН (контрольная группа; женщин — 12, мужчин — 6). Критерий включения в исследуемую группу: пациенты с ХСН II—IV функционального класса (ФК) по NYHA; в контрольную группу: пациенты, перенесшие радиочастотную абляцию устья легочных вен по поводу пароксизмального течения фибрилляции предсердий на фоне гипертонической болезни, имеющие хорошую визуализацию экскурсии диафрагмы с обеих сторон.

Критерии исключения для пациентов обеих групп: наличие сопутствующих заболеваний, потенциально изменяющих работу диафрагмы, таких как патология легких, морбидное ожирение, заболевания органов брюшной полости, сопровождающихся повышением внутрибрюшного давления, анемия (Hb <120 г/л).

Средний возраст пациентов исследуемой группы составил 59,1±12,9 года, рост 172,9±8,3 см, масса тела 84,9±17,0 кг, индекс массы тела (ИМТ) 28,3±4,9 кг/м^2, пациенты исследуемой группы болели ХСН не менее года с момента установления диагноза. Среди включенных в исследуемую группу пациентов с ХСН II ФК — 15, с ХСН III ФК — 12, с ХСН IV ФК — 13. Разделение по ФК выполняли на основе указанного ФК в диагнозе на момент поступления в клинику.

Все пациенты получали комбинированную терапию: это ингибиторы ангиотензинпревращающего фермента (иАПФ), бета-блокаторы, диуретики, антагонисты альдостерона, статины. Пациенты с нарушениями ритма сердца (фибрилляцией предсердий) дополнительно получали антикоагулянты для приема внутрь.

В силу объективных затруднений [18—21] визуализация экскурсии диафрагмы слева при спокойном дыхании была доступна у 75% (n=30) испытуемых исследуемой группы, при глубоком дыхании — у 57,5% (n=23).

Средний возраст пациентов контрольной группы составил 60,3±11,1 года, рост 172,1±12,0 см, масса тела

81,7±15,5 кг, ИМТ 27,6±4,7 кг/м^2. Пациенты исследуемой и контрольной групп сопоставимы по антропометрическим и возрастным параметрам.

УЗИ диафрагмы и оценку параметров внешнего дыхания проводили в положении лежа с приподнятым головным концом кровати на 30° — это основное положение пациентов в палатах отделения реанимации. Структурное (толщину — Т) и функциональное (экскурсию — Э; индекс утолщения — ИУ) состояние диафрагмы во время спокойного и глубокого вдоха/выдоха оценивали с помощью ультразвукового аппарата Philips CX50 (Philips Ultrasound, Inc., США).

Параметры функции внешнего дыхания оценивали с помощью аппарата искусственной вентиляции легких в режиме неинвазивной вентиляции легких, модель Evita Infinity V500в (Dräger, Германия). Параметры настройки аппарата: постоянное положительное давление 0 см H_2O без поддержки давлением, фракция кислорода на вдохе 21%.

Фиксировали дыхательные объемы при спокойном ($ДО_{сп}$) и максимально глубоком ($ДО_{гл}$) дыхании, время вдоха и выдоха. Оценивали нейрореспираторный драйв на основании P0.1 — снижения давления в дыхательных путях в первые 100 мс самостоятельной дыхательной попытки пациента при окклюзии дыхательного контура и силу дыхательной мускулатуры путем измерения максимального усилия на вдохе (Negative Inspiratory Force — NIF) — минимального давления в дыхательных путях при вдохе из герметично закрытого контура. Значения NIF меньше (−25)—(−30) см H_2O [22] приняли как показатель слабости дыхательной мускулатуры.

Статистическую обработку полученных данных осуществляли с помощью программы Statistica 10 (StatSoft Inc., США) и внешнего пакета анализа Real Statistics Resource Pack, дополняющего стандартные возможности Microsoft Excel.

Мощность исследования составила 0,83. Характер распределения оценивали по критериям Шапиро—Уилка, Колмогорова—Смирнова. Сравнения независимых групп осуществляли с помощью критерия Манна—Уитни. Для анализа взаимосвязи явлений применяли рангово-бисериальный коэффициент и коэффициент ранговой корреляции Спирмена с оценкой силы по шкале Чеддока: слабая — от 0,1 до 0,3; умеренная — от 0,3 до 0,5; заметная — от 0,5 до 0,7; высокая — от 0,7 до 0,9; весьма высокая (сильная) — от 0,9 до 1,0.

Данные представлены в виде медианы и квантилей (25-го; 75-го): Me (Q_1; Q_3). Статистически значимыми различия считали при $p \leqslant 0{,}05$.

Результаты

Между контрольной и исследуемой группами не было различий по газовому составу крови, уровню гемоглобина, а также не было лабораторных признаков кислородной задолженности — уровень лактатемии находился в пределах референсных значений. Полученные результаты представлены в **табл. 1—4**.

Из **табл. 1** видно, что у пациентов группы с ХСН статистически значимо снижена систолическая функция правого и левого желудочков и более выражена легочная гипертензия.

Таблица 1. **Результаты анализа данных инструментального обследования пациентов сравниваемых групп**
Table 1. **Results of the analysis of instrumental data of the compared groups**

Показатель	Пациенты (n=58)		p
	без ХСН	с ХСН	
SpO_2, %	99,0 (99,0; 100,0)	98,0 (97,0; 99,0)	0,003*
APACHE II, баллы	10,5 (8,0; 11,0)	13 (11,5; 15,0)	0,001*
ФВ ЛЖ, %	60,0 (56,0; 62)	30,0 (21,5; 37,5)	0,001*
TAPSE, мм	19,5 (18,0; 24,0)	17,0 (14,0; 19,0)	0,001*
СДЛА, мм рт.ст.	31,8 (26,0; 38,0)	39,5 (34,5; 50,0)	0,001*

Примечание. Данные представлены в виде Me (Q_1; Q_3). APACHE II — шкала интегральной оценки состояния здоровья II; ФВ ЛЖ — фракция выброса левого желудочка; TAPSE — систолическая экскурсия в плоскости кольца трикуспидального клапана; СДЛА — систолическое давление в легочной артерии по данным эхокардиографии; SpO_2 — транскутанное насыщение крови кислородом. * — статистически значимые различия ($p \leqslant 0{,}05$, критерий Манна—Уитни).

Таблица 2. **Результаты анализа показателей спирометрии у пациентов сравниваемых групп**
Table 2. **Results of the analysis of spirometry parameters of the compared groups**

Показатель	Пациенты (n=58)		p
	без ХСН	с ХСН	
ЧДД	14,0 (11,0; 16,0)	15,0 (13,0; 17,0)	0,19
$ДО_{сп}$, мл	570,5 (443,0; 696,0)	555,0 (450,0; 764,0)	0,87
$Т_{вд}$ СП, с	1,6 (1,3; 2,1)	1,2 (1,1; 1,6)	0,002*
$Т_{выд}$ СП, с	2,8 (1,8; 3,4)	2,8 (2,4; 3,3)	0,79
$ДО_{гл}$, мл	4022,0 (3800,0; 4500,0)	3000,0 (2300,0; 4000,0)	0,002*
P0.1, см H_2O	−1,4 (−1,7; −1,0)	−1,3 (−1,8; −0,9)	0,84
NIF, см H_2O	−47,2 (−58,0; −43,0)	−44,0 (−58,0; −33,4)	0,29

Примечание. Данные представлены в виде Me (Q_1; Q_3). ЧДД — частота дыхательных движений; ДО — объем вдоха; сп — спокойное дыхание; гл — глубокое дыхание; $Т_{вд}$ — время вдоха; $Т_{выд}$ — время выдоха; NIF — максимальная сила вдоха; P0.1 — снижение давления в дыхательных путях в первые 100 мс; см H_2O — сантиметр водного столба; с — секунда. * — статистически значимые различия ($p \leqslant 0{,}05$, критерий Манна—Уитни).

Таблица 3. **Результаты анализа толщины диафрагмы у пациентов сравниваемых групп**
Table 3. **Results of the analysis of diaphragm thickness in patients of the compared groups**

Показатель	Пациенты (*n*=58)		*p*
	без ХСН	с ХСН	
$Т_{сп-вд}$, справа, мм	2,0 (1,7; 2,3)	2,9 (2,2; 3,7)	0,00021*
$Т_{сп-выд}$, справа, мм	1,6 (1,3; 1,8)	2,1 (1,8; 2,9)	0,0001*
$Т_{гл-вд}$, справа, мм	4,2 (3,6; 5,4)	5,2 (4,2; 6,2)	0,07
$Т_{гл-выд}$, справа, мм	1,3 (1,0; 1,5)	1,7 (1,3; 1,9)	0,007*
$Т_{сп-вд}$, слева, мм	2,0 (1,8; 2,1)	2,8 (2,4; 3,5)	0,0002*
$Т_{сп-выд}$, слева, мм	1,5 (1,4; 1,7)	2,0 (1,7; 2,5)	0,0002*
$Т_{гл-вд}$, слева, мм	4,0 (3,2; 4,4)	4,9 (4,1; 6,9)	0,02*
$Т_{гл-выд}$, слева, мм	1,2 (1,0; 1,5)	1,6 (1,3; 2,0)	0,0004*
$ИУ_{сп-вд}$, справа, %	20,9 (17,3; 33,8)	29,5 (18,3; 44,1)	0,17
$ИУ_{гл-вд}$, справа, %	151,8 (114,6; 282,5)	118,5 (81,2; 180,9)	0,04*
$ИУ_{сп-вд}$, слева, %	30,6 (22,5; 43,6)	38,1 (29,1; 60,1)	0,17
$ИУ_{гл-вд}$, слева, %	169,8 (100,0; 245,8)	150,0 (119,0; 192,7)	0,87

Примечание. Данные представлены в виде Me (Q_1; Q_3). Т — толщина; ИУ — индекс утолщения; сп — спокойный; гл — глубокий; вд — вдох; выд — выдох. * — статистически значимые различия ($p \leqslant 0,05$, критерий Манна—Уитни).

Таблица 4. **Результаты анализа смещения (экскурсии) диафрагмы у пациентов сравниваемых групп**
Table 4. **Results of the analysis of diaphragm displacement (excursion) in patients of the compared groups**

Показатель	Пациенты (*n*=58)		*p*
	без ХСН	с ХСН	
Количество	*n*=18	*n*=40	—
$Э_{сп}$, справа, см	1,8 (1,3; 1,9)	2,3 (1,6; 2,8)	0,003*
$Э_{гл}$, справа, см	7,0 (5,4; 8,5)	7,2 (5,9; 9,1)	0,69
Количество	*n*=18	*n*=30	—
$Э_{сп}$, слева, см	1,58 (1,39; 2,14)	1,87 (1,53; 2,31)	0,27
Количество	*n*=18	*n*=23	—
$Э_{гл}$, слева, см	6,5 (5,2; 7,4)	5,6 (4,5; 7,3)	0,15

Примечание. Данные представлены в виде Me (Q_1; Q_3). Э — экскурсия; сп — спокойное дыхание; гл — глубокое дыхание. * — статистически значимые различия ($p \leqslant 0,05$, критерий Манна—Уитни).

Несмотря на находящиеся в референсном диапазоне значения, отмечается статистически значимая разница насыщения гемоглобина кислородом по данным пульсоксиметрии.

Согласно данным, представленным в **табл. 2**, у пациентов с ХСН отмечен меньший объем вдоха при глубоком дыхании, тогда как респираторный драйв (P0.1) и сила вдоха (NIF) сопоставимы.

Как видно из **табл. 3**, у пациентов с ХСН выявлена бóльшая толщина диафрагмы с обеих сторон в каждой фазе дыхательного цикла как при спокойном, так и при глубоком дыхании, тогда как индекс утолщения оказался значимо меньшим, но только при глубоком вдохе справа.

Согласно данным **табл. 4**, у пациентов с ХСН больше экскурсия правого (достигает статистически значимой разницы) и левого (не достигает статистически значимой разницы) куполов диафрагмы при спокойном дыхании. При глубоком дыхании значимых различий в экскурсии диафрагмы с обеих сторон не выявлено.

Результаты корреляционного анализа показали умеренную и заметную отрицательную связь хронической сердечной недостаточности с дыхательным объемом при глубоком вдохе (*rs* –0,41; $p \leqslant 0,05$) и насыщением гемоглобина кислородом, измеренным с помощью пульсоксиметра (*rs* –0,55; $p \leqslant 0,05$).

Выявлено, что ХСН влияет на множество структурно-функциональных параметров диафрагмы, однако это влияние невыраженное. Заметная прямая линейная корреляция обнаруживается только между ХСН и толщиной диафрагмы с обеих сторон при спокойном вдохе: справа *rs* 0,56, слева *rs* 0,55 ($p \leqslant 0,05$). На **рис. 1—4** представлена корреляция между толщиной диафрагмы и наличием ХСН.

Внутри группы пациентов с ХСН не выявлена статистически значимая корреляция между показателями функции сердца и внешним дыханием, а также между спирометрическими показателями и данными УЗИ диафрагмы.

Учитывая отсутствие сильных корреляционных взаимодействий, мы не выполняли регрессионный анализ.

Обсуждение

Цель настоящего исследования — научное обоснование гипотезы о вкладе диафрагмальной дисфункции в развитие дыхательной недостаточности у пациентов в ХСН. Такое предположение обосновано высокой потребностью диафрагмы в кислороде [23] и, как следствие, ее уязвимостью к снижению кислородного потока [24], нарастающему по мере прогрессирования сердечной недостаточно-

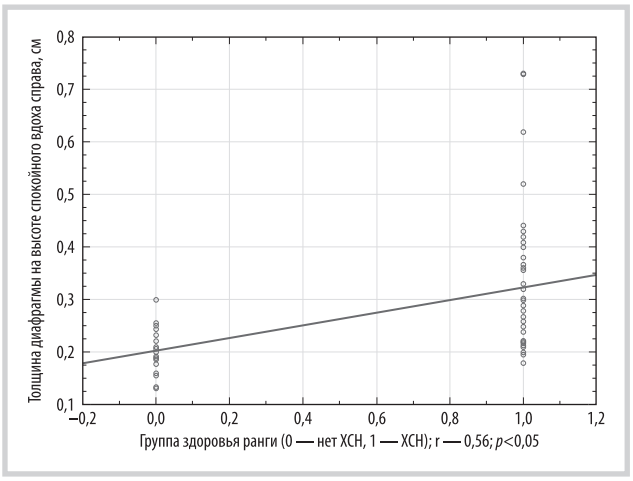

Рис. 1. **Связь утолщения правой гемисферы диафрагмы с наличием хронической сердечной недостаточности.**

Fig. 1. **Correlation between thickening of the right dome of diaphragm and CHF.**

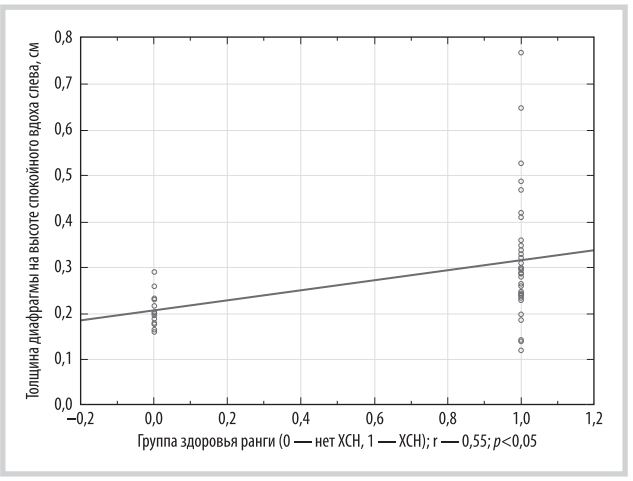

Рис. 3. **Связь утолщения левой гемисферы диафрагмы с наличием хронической сердечной недостаточности.**

Fig. 3. **Correlation between thickening of the left dome of diaphragm and CHF.**

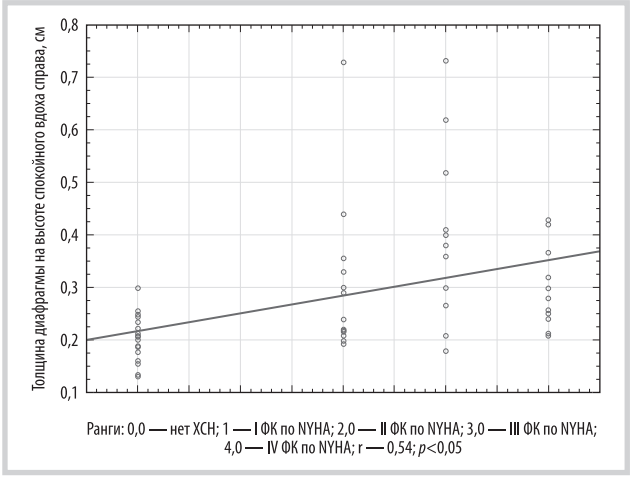

Рис. 2. **Связь утолщения правой гемисферы диафрагмы с наличием хронической сердечной недостаточности (учтен функциональный класс по NYHA).**

Fig. 2. **Correlation between thickening of the right dome of diaphragm and CHF depending on NYHA class.**

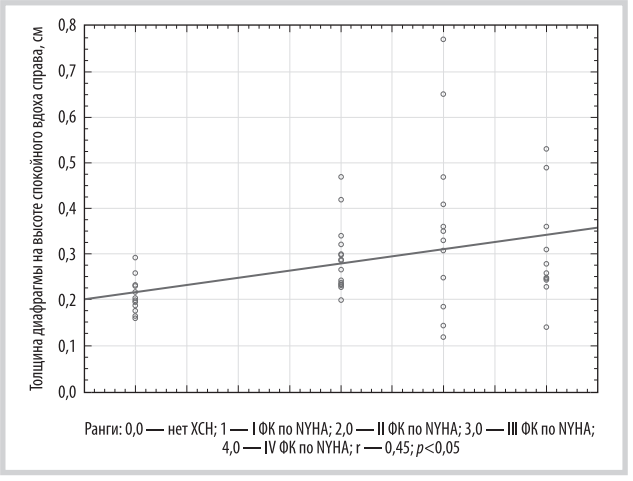

Рис. 4. **Связь утолщения левой гемисферы диафрагмы с наличием хронической сердечной недостаточности (учтен функциональный класс по NYHA).**

Fig. 4. **Correlation between thickening of the left dome of diaphragm and CHF depending on NYHA class.**

сти [7] вплоть до формирования синдрома малого сердечного выброса.

У пациентов группы с ХСН показатели сердечной деятельности (фракция выброса левого желудочка (ФВ ЛЖ), TAPSE, систолическое давление в легочной артерии — СДЛА) были хуже, а показатели SpO_2 оставались в референсном диапазоне, но были статистически значимо меньше, что может быть объяснено закономерным снижением периферического кровотока у этой категории больных [25].

Наиболее наглядное (и клинико-диагностически значимое) отличие спирометрических показателей у пациентов с ХСН — статистически значимо меньший (на 25%; p=0,002) объем максимально глубокого вдоха: 3000 мл по сравнению с 4000 мл у пациентов без ХСН. Поскольку различий между объемами спокойных вдохов в сравниваемых группах нет, можно сделать вывод о существующем у пациентов с ХСН ограничении функциональных резервов аппарата внешнего дыхания, что само по себе открытием не является [5, 6, 8], но интерес представляет вопрос о том, какова в этом роль диафрагмы.

Согласно полученным нами данным, у пациентов с ХСН статистически значимо больше толщина диафрагмы справа и слева во всех фазах дыхательного цикла как при спокойном, так и при глубоком дыхании. Изменения толщины диафрагмы при ХСН, но разнонаправленные, отмечают и другие авторы [5, 9, 26].

M. Miyagi и соавт. выявили бóльшую толщину диафрагмы у пациентов с более низкой фракцией левого желудочка [5], тогда как J. Spiesshoefer и соавт. не нашли различий в толщине диафрагмы в конце спокойного выдоха у здоровых и пациентов с ХСН; толщина диафрагмы при глубоком вдохе, напротив, оказалась больше у здоровых [26].

Принимая во внимание, что ХСН обусловливает развитие отека паренхимы легких с повышением эластиче-

ской тяги (т.е. со снижением податливости) легких и ригидности грудной клетки [8, 15, 26], можно ожидать увеличения нагрузки на диафрагму на вдохе с формированием ее гипертрофии. Схожие патофизиологические механизмы повышения нагрузки на диафрагму в условиях гипоксии и снижения притока крови к ней у пациентов с некардиогенной дыхательной недостаточностью приводят к различным структурным изменениям диафрагмы: утолщению, атрофии, дистрофии и отеку [27].

Полученные нами результаты оценки функциональных показателей свидетельствуют о том, что экскурсия диафрагмы при спокойном дыхании больше у пациентов с ХСН (справа — статистически значимо), как и индекс утолщения (статистически незначимо), что, вероятно, можно объяснить повышенной работой дыхательной мускулатуры уже при дыхании в покое. Данные литературы на этот счет также противоречивы: M.C. Andriopoulou и соавт. [14] получили меньшую экскурсию диафрагмы у пациентов с ХСН, тогда как J.C. Spiesshoefer и соавт. [26] — бóльшую.

Механизмы выявленных нами изменений, предположительно, следующие: из-за снижения податливости легких [8, 15] респираторные мышцы пациентов с ХСН уже в покое вынуждены выполнять относительно бóльшую работу для поддержания эффективного дыхательного объема, что обусловливает возрастание «метаболической и физиологической цены» дыхания.

Во время глубокого дыхания статистически значимых различий экскурсии диафрагмы между группами мы не выявили, что противоречит некоторым данным, указывающим на снижение экскурсии при глубоком вдохе [14, 26]. Выявленные нами (1) относительно меньшее утолщение диафрагмы и (2) меньший объем глубокого вдоха согласуются с невозможностью максимального включения в работу мышечной части диафрагмы при глубоком дыхании, т.е. определяют снижение ее функциональных резервов.

Наиболее вероятным объяснением противоречивых результатов является различие сравниваемых групп: у наиболее тяжелых, в стадии декомпенсации, обследованных нами пациентов с ХСН выявлено снижение экскурсии диафрагмы и дыхательного объема, что согласуется с данными литературы.

Клинический пример. У пациента 67 лет с дыхательной недостаточностью, показаниями к инсуффляции 5 л/мин O_2 вследствие декомпенсации ХСН (ФВ ЛЖ 15%, TAPSE 11 мм, СДЛА 65 мм рт.ст. на фоне инфузии добутамина 5 мкг на 1 кг массы тела в минуту) определялась выраженная слабость дыхательной мускулатуры. Показатели спирометрии: $ДО_{сп}/ДО_{гл}$ 278/1800 мл, P0.1 = 0,9 см H_2O, NIF 20 см H_2O.

УЗИ диафрагмы: толщина правой гемисферы при спокойном вдохе/выдохе 4,3/3,8 мм, при глубоком вдохе/выдохе 4,7/2,3 мм. Индекс утолщения при спокойном/глубоком вдохе 13/23%, экскурсия 1,35/5,87 см. Это означает, что увеличенная толщина диафрагмы сочеталась с низкими ее функциональными показателями: степенью утолщения и экскурсией.

В результате проводимой комплексной терапии (бета-блокаторы, иАПФ, диуретики, нитраты, инотропная поддержка) ХСН компенсирована (гидробаланс за 5 дней отрицательный — 16,950 мл), дыхательная недостаточность купирована; толщина диафрагмы уменьшилась, а ее функциональные показатели повысились.

Представленный клинический пример примечателен тем, что у пациента с декомпенсированной ХСН IV ФК не было показаний к той или иной механической респираторной поддержке, что очерчивает понимание границ ФК, во всяком случае для реаниматолога.

Фактическое, но незначимое отличие структурно-функциональных показателей УЗИ правой и левой гемисфер диафрагмы ранее выявлено нами у здоровых [18] и подтверждается в этом исследовании.

Отсутствие сильных корреляционных взаимодействий между спирометрическими показателями и структурно-функциональными параметрами диафрагмы [28] подтверждается как настоящими результатами, так и данными литературы [19, 20, 29]. Объяснение этого факта, вероятно, скрывается в неизвестной степени включения вспомогательной мускулатуры и недостаточном объеме накопленных наукой данных УЗИ диафрагмы.

Наше исследование имеет существенное ограничение: несмотря на то что формально в нем приняли участие пациенты с ХСН II—IV ФК, на момент выполнения измерений в результате проводимой терапии практически все находились в компенсированном состоянии без клиники дыхательной недостаточности. Фактически у пациентов была ХСН более легкого ФК, что не позволило выявить сильные корреляции между выраженностью сократительной дисфункции миокарда, показателями спирометрии и УЗИ.

Заключение

Наличие хронической сердечной недостаточности обусловливает развитие ряда изменений в функционировании аппарата внешнего дыхания, как общеизвестных, так и неочевидных. Среди известных — ограничение спирометрических резервов в виде прежде всего снижения максимального дыхательного объема и, соответственно, эффективной минутной вентиляции. Среди неочевидных — утолщение диафрагмы, природу которого необходимо установить (отек, гипертрофия?), в наиболее тяжелых случаях — снижение возможности генерировать ею отрицательное давление.

С позиции врача — анестезиолога-реаниматолога наибольший интерес представляют пациенты с кардиогенной дыхательной недостаточностью, особенно нуждающиеся в искусственной вентиляции легких. Коррекция диафрагмальной дисфункции при хронической сердечной недостаточности высоких градаций может стать самостоятельной целью настройки параметров респираторной поддержки, преследующей минимизацию работы дыхания и снижение потребления кислорода респираторными мышцами.

Продолжение исследований поможет конкретизировать концепцию диафрагмально-защитной искусственной вентиляции легких.

Участие авторов:
Концепция и дизайн исследования — Шабаев В.С., Мазурок В.А., Оразмагомедова И.В.
Сбор и обработка материала — Шабаев В.С., Оразмагомедова И.В., Васильева Л.Г., Александрова Д.А.
Статистическая обработка — Шабаев В.С.
Написание текста — Шабаев В.С., Мазурок В.А.
Редактирование — Шабаев В.С., Мазурок В.А., Березина А.В., Баутин А.Е.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.
The authors declare no conflicts of interest.

ЛИТЕРАТУРА/REFERENCES

1. 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 KV, Svirskii DA, Kirov MYu. Treatment option for diaphragm dysfunction after cardiac surgery: a review and a clinical case. *Vestnik intensivnoj terapii im. A.I. Saltanova*. 2022;3:57-68. (In Russ.).
https://doi.org/10.21320/1818-474X-2022-3-57-68
2. Ухолкина Г.Б. Оксигенотерапия при сердечно-сосудистых заболеваниях и инфекции COVID-19. *РМЖ*. 2020;11:14-18.
Ukholkina GB. Oxygen therapy for cardiovascular diseases and COVID-19 infection. *RMJ*. 2020;11:14-18. (In Russ.).
3. Ярошецкий А.И., Власенко А.В., Грицан А.И., Киров М.Ю., Колесниченко А.П., Лебединский К.М., Николаенко Э.М., Проценко Д.Н. Применение неинвазивной вентиляции легких (второй пересмотр). *Анестезиология и реаниматология*. 2019;6:5-19.
Yaroshetskiy AI, Vlasenko AV, Gritsan AI, Kirov MYu, Kolesnichenko AP, Lebedinskii KM, Nikolaenko EM, Protsenko DN. Non-invasive respiratory support (the second edition). Clinical guidelines of the Federation of Anesthesiologists and Reanimatologists of Russia. *Anesteziologiya i Reanimatologiya*. 2019;6:5-19. (In Russ.).
https://doi.org/10.17116/anaesthesiology20190615
4. Швайко С.Н. Клиническое значение диагностики дисфункции респираторной мускулатуры у больных хронической обструктивной болезнью легких и хронической сердечной недостаточностью. *Российский медико-биологический вестник им. акад. И.П. Павлова*. 2006;4:69-74.
Shvaiko SN. Clinical significance of the diagnosis of respiratory muscle dysfunction in patients with chronic obstructive pulmonary disease and chronic heart failure. *Rossijskij mediko-biologicheskij vestnik im. akad. I.P. Pavlova*. 2006;4:69-74. (In Russ.).
5. 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. *Journal of Cardiac Failure*. 2018;24(4):209-216.
https://doi.org/10.1016/j.cardfail.2017.12.004
6. Meyer FJ, Borst MM, 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.
https://doi.org/10.1161/01.cir.103.17.2153
7. 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;1:88-94.
Solomonova LN, Storozhakov GV, Gendlin GE, Melekhov AV, Svetlakov VI. The state of the external respiratory system in patients with chronic heart failure. *Rossijskij kardiologicheskij zhurnal*. 2006;1:88-94. (In Russ.).
8. 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. *РМЖ*. 2004;15:912.
Shilov AM, Mel'nik MV, Chubarov MV, Grachev SP, Babchenko PK. Respiratory disorders in patients with chronic heart failure. *RMZh*. 2004;15:912. (In Russ.).
9. Kee K, Naughton MT. Heart failure and the lung. *Circulation Journal*. 2010;74(12):2507-2516.
https://doi.org/10.1253/circj.cj-10-0869
10. Meyer FJ, Zugck C, Haass M, Otterspoor L, Strasser RH, Kübler W, Borst MM. Inefficient ventilation and reduced respiratory muscle capacity in congestive heart failure. *Basic Research in Cardiology*. 2000;95:333-342.
https://doi.org/10.1007/s003950070053
11. Anker SD, Ponikowski P, Varney S, Chua TP, Clark AL, Webb-Peploe KM, Harrington D, Kox WJ, Poole-Wilson PA, Coats AJ. Wasting as independent risk factor for mortality in chronic heart failure. *Lancet*. 1997;349:1050-1053.
https://doi.org/10.1016/s0140-6736(96)07015-8
12. McParland C, Krishnan B, Wang Y, Gallagher CG. Inspiratory muscle weakness and dyspnea in chronic heart failure. *The American Review of Respiratory Disease*. 1992;146(2):467-472.
https://doi.org/10.1164/ajrccm/146.2.467
13. Mancini DM, Henson D, LaManca J, Levine S. Respiratory muscle endurance is decreased in patients with heart failure. *Circulation*. 1992;86(Suppl I):IF515.
https://doi.org/10.1161/01.cir.86.3.909
14. Andriopoulou M, Dimaki N, Kallistratos MS, Chamodraka E, Jahaj E, Vassiliou AG, Giokas G, Kotanidou A, Manolis AJ, Piepoli MF, Filippatos G. Skeletal muscle alterations and exercise intolerance in heart failure with preserved ejection fraction patients: ultrasonography assessment of diaphragm and quadriceps. *European Journal of Heart Failure*. 2022;24(4):729-731.
https://doi.org/10.1002/ejhf.2462
15. Бегрambекова Ю.Л., Каранадзе Н.А., Орлова Я. А. Нарушение системы дыхания при хронической сердечной недостаточности. *Кардиология*. 2019;59(S2):15-24.
Begrambekova YuL, Karanadze NA, Orlova YA. Alterations of the respiratory system in heart failure. *Kardiologiya*. 2019;59(2S):15-24. (In Russ.).
https://doi.org/10.18087/cardio.2626
16. Александров А.Л., Перлей В.Е., Гичкин А.Ю., Суркова Е.Г., Яковлева Н.Г., Кузубова Н.А. Взаимосвязь функционального состояния диафрагмы с показателями функции внешнего дыхания у больных ХОБЛ с тяжелым и среднетяжелым течением. *Ученые записки Первого Санкт-Петербургского государственного медицинского университета им. акад. И.П. Павлова*. 2012;19(3):66-69.
Aleksandrov AL, Perlei VE, Gichkin AYu, Surkova EG, Yakovleva NG, Kuzubova NA. The relationship of the functional state of the diaphragm with indicators of the function of external respiration in patients with COPD with severe and moderate course. *Uchenye zapiski Pervogo Sankt-Peterburgskogo gosudarstvennogo meditsinskogo universiteta im. akad. I.P. Pavlova*. 2012;19(3):66-69. (In Russ.).
17. Лахин Р.Е. *Ультразвук легких в ОРИТ при COVID-19: учебное пособие*. 2-е изд., испр. и доп. М.: Футурис Принт; 2020.
Lakhin RE. *Ul'trazvuk legkikh v ORIT pri COVID-19: uchebnoe posobie*. 2-e izd., ispr. i dop. M.: Futuris Print; 2020. (In Russ.).
18. Неклюдова Г.В., Авдеев С.Н. Возможности ультразвукового исследования диафрагмы. *Терапевтический архив*. 2019;91(3):86-92.
Nekludova GV, Avdeev SN. Possibilities of ultrasound research of the diaphragm. *Terapevticheskij arkhiv*. 2019;91(3):86-92. (In Russ.).
https://doi.org/10.26442/00403660.2019.03.000129
19. Шабаев В.С., Оразмагомедова И.В., Мазурок В.А., Березина А.В., Васильева Л.Г., Александрова Д.А. Сонографические показатели диафрагмы у здоровых лиц. *Анестезиология и реаниматология*. 2023;2:44-50.
Shabaev VS, Orazmagomedova IV, Mazurok VA, Berezina AV, Vasilyeva LG, Aleksandrova DA. Sonography indicators of diaphragm in healthy individuals. *Anesteziologiya i Reanimatologiya*. 2023;2:44-50. (In Russ.).
https://doi.org/10.17116/anaesthesiology202302144
20. Santana PV, Cardenas LZ, Albuquerque ALP, Carvalho CRR, Caruso P. Diaphragmatic ultrasound: a review of its methodological aspects and clinical uses. *Jornal Brasileiro de Pneumologia*. 2020;46(6):e20200064.
https://doi.org/10.36416/1806-3756/e20200064
21. Ueki J, De Bruin PF, Pride NB. *In vivo* assessment of diaphragm contraction by ultrasound in normal subjects. *Thorax*. 1995;50(11):1157-1161.
https://doi.org/10.1136/thx.50.11.1157
22. Vu PH, Tran VD, Duong MC, Cong QT, Nguyen T. Predictive value of the negative inspiratory force index as a predictor of weaning success: a cross-sectional study. *Acute Critical Care*. 2020;35(4):279-285.
https://doi.org/10.4266/acc.2020.00598
23. Poole DC, Sexton WL, Farkas GA, Powers SK, Reid MB. Diaphragm structure and function in health and disease. *Medicine and Science in Sports and Exercise*. 1997;29(6):738-754.
https://doi.org/10.1097/00005768-199706000-00003
24. Schepens T, Dres M, Heunks L, Goligher E. Diaphragm-protective mechanical ventilation. *Current Opinion in Critical Care*. 2018;25(1):77-85.
https://doi.org/10.1097/MCC.0000000000000578
25. Тепляков А.Т., Калюжин В.В., Калюжина Е.В., Черногорюк Г.Э., Рачковский М.И., Беспалова И.Д., Терентьева Н.Н., Лившиц И.К., Соловцов М.А., Чернявская Г.М. Патология периферического кровообращения при хронической сердечной недостаточности. *Бюллетень сибирской медицины*. 2017;16(1):162-178.
Teplyakov AT, Kalyuzhin VV, Kalyuzhina EV, Chernogoryuk GE, Rachkovsky MI, Bespalova ID, Terentyeva NN, Livshits IK, Solovtsov MA, Chernyavskaya GM. Pathology of the peripheral circulation in chronic heart failure. *Byulleten' sibirskoj meditsiny*. 2017;16(1):162-178. (In Russ.).
https://doi.org/10.20538/1682-0363-2017-1-162-178
26. Spiesshoefer J, Henke C, Kabitz HJ, Bengel P, Schütt K, Nofer JR, Spieker M, Orwat S, Diller GP, Strecker JK, Giannoni A, Dreher M, Randerath WJ, Boentert M, Tuleta I. Heart Failure Results in Inspiratory Muscle Dysfunction Irrespective of Left Ventricular Ejection Fraction. *Respiration*. 2021;100(2):96-108.
https://doi.org/10.1159/000509940
27. Уразова Г.Е., Ландышев Ю.С., Целуйко С.С., Красавина Н.П. Влияние хронической дыхательной недостаточности на морфофункциональное состояние диафрагмальной мышцы. *Бюллетень физиологии и патологии дыхания*. 2007;26:32-35.
Urazova GE, Landyshev YuS, Tseluiko SS, Krasavina NP. Influence of chronic respiratory insufficiency on morfofunctional condition of the di-

aphragm muscle. *Byulleten' fiziologii i patologii dykhaniya*. 2007;26:32-35. (In Russ.).

28. Шабаев В С., Мазурок В.А., Оразмагомедова И.В., Березина А.В., Васильева Л.Г., Александрова Д.А. Сонографические показатели диафрагмы и их корреляции со спирометрическими данными у здоровых лиц: клиническое исследование. *Вестник интенсивной терапии им. А.И. Салтанова*. 2023;2:91-101.
Shabaev VS, Orazmagomedova IV, Mazurok VA, Berezina AV, Vasilyeva LG, Aleksandrova DA. Sonography indicators of diaphragm and their correlation with spirometry data in healthy individuals:clinical study. *Vestnik intensivnoj terapii im. A.I. Saltanova*. 2023;2:91-101. (In Russ.). https://doi.org/10.21320/1818-474X-2023-2-91-101

29. Carrié C, Bonnardel E, Vally R, Revel P, Marthan R, Marthan R. Impairment due to Neuromuscular Disease and its Correlation with Diaphragmatic Ultrasound: A Preliminary Study. *Ultrasound in Medicine and Biology*. 2016;42(1):143-149.
https://doi.org/10.1016/j.ultrasmedbio.2015.09.020

Поступила 03.05.2023
Received 03.05.2023
Принята к печати 06.06.2023
Accepted 06.06.2023