

Арутюнов Г. П. 1 , Колесникова Е. А, 1 Ильина К. В. 1,2 , Рылова А. К. 1 , Арутюнов А. Г. 1 , Щербакова Н.В. 1 , Кулагина Н. П. 2

 1 ФГБОУ ВО «Российский национальный исследовательский медицинский университет имени Н.И. Пирогова» Минздрава РФ, Москва, Россия

Выбор оптимального режима тренировок дыхательных мышц у пациентов с хронической сердечной недостаточностью II-III функциональных классов

Цель	Изучение влияния различных видов тренировок дыхательной мускулатуры (ТДМ) у пациентов с хронической сердечной недостаточностью (ХСН) II–III функциональных классов (ФК) и сохранной мышечной массой диафрагмы более 70%.
Материал и методы	В исследовании 53 больных (28 мужчин и 25 женщин) ишемической болезнью сердца (ИБС) и гипертонической болезнью с ХСН II–III ФК по NYHA в возрасте от 50 до 75 лет с сохранной мышечной массой диафрагмы более 70% были рандомизированы для занятий одним из 4-х вариантов ТДМ: статические нагрузки, динамические нагрузки, их сочетание, дыхание без создаваемого сопротивления – контрольная группа. Пиковое потребление кислорода (VO _{2 реак}), максимальное инспираторное давление (МІР) оценивали исходно и через 6 месяцев.
Результаты	Во всех исследуемых группах отмечалось улучшение показателей физической выносливости, статистически значимое по сравнению с исходными значениями (p <0,05). При попарном сравнении группы достоверно отличались между собой (p <0,01). Наибольшее улучшение продемонстрировали пациенты из группы динамических и сочетанных тренировок. При этом результаты в группе сочетанных тренировок были значимо выше, чем в группе только динамических нагрузок. Наибольшая статистически значимая (p <0,01) положительная динамика силы мышц вдоха отмечалась в группах с динамическими и смешанными тренировками, причем лучшие результаты получены у пациентов группы сочетанных тренировок.
Заключение	При сохранении более чем 70% мышечной ткани диафрагмы (по данным MIP более 60 см вод. ст.) наиболее эффективно сочетание статических и динамических ТДМ у больных ХСН II–III ФК.
Ключевые слова	Хроническая сердечная недостаточность; ФК ХСН; диафрагма; максимальное инспираторное давление; тренировки дыхательной мускулатуры
Для цитирования	Arutyunov G. P., Kolesnikova E. A., Ilyina K. V., Rylova A. K., Arutyunov A. G., Scherbakova N. V. et al. Selection of the optimal respiratory muscle training mode in patients with class II-III chronic heart failure. Kardiologiia. 2021;61(2):69–75. [Russian: Арутюнов Г.П., Колесникова Е.А, Ильина К.В., Рылова А.К., Арутюнов А.Г., Щербакова Н.В. и др. Выбор оптимального режима тренировок дыхательных мышц у пациентов с хронической сердечной недостаточностью II-III функциональных классов. Кардиология. 2021;61(2):69–75]
Автор для переписки	Ильина Ксения Владимировна. E-mail doc.ksenia@gmail.com

Введение

Тренировки дыхательных мышц у пациентов с хронической сердечной недостаточностью (XCH) доказали свою эффективность и вошли в национальные и европейские рекомендации по физической реабилитации больных XCH [1–5].

В проспективном исследовании Souza H с соавт. [6] показано, что тренировки дыхательных мышц приводят к увеличению максимальной толщины диафрагмальной мышцы при ее сокращении и улучшению функции внешнего дыхания.

В недавно выполненном нами исследовании [7] анализ данных аутопсии диафрагмы и прижизненных параметров функциональных проб показал, что величина максимального инспираторного давления (МІР) – показатель, косвенно отражающий функциональное состояние дыхательных мышц,

в том числе и диафрагмальной мышцы [8-10], имеет прямую тесную корреляционную связь с величиной мышечной ткани и обратную с величиной жировой и соединительной ткани в диафрагме. В процессе работы было установлено, что наличие 70% сохраненной мышечной массы диафрагмы соответствовало МІР, равному 60 см вод. ст. Наиболее значимо МІР снижается у пациентов с ХСН ІІІ функционального класса (ΦK) , оставаясь низким у пациентов с XCH IV ΦK [7].

Таким образом, чем больше сохранено мышечной ткани в диафрагме, тем больше вклад этой мышцы в полноценное внешнее дыхание и возможность увеличить объем вдоха пропорционально приросту объема физической нагрузки.

Целью настоящего исследования явилось изучение влияния различных видов тренировок дыхательной мускула-

² ГБУЗ «Городская клиническая больница №4», Москва, Россия



туры у пациентов с XCH II–III Φ K и сохранной мышечной массой диафрагмы более 70% (по данным MIP более 60 см вод. ст.).

Материал и методы

Исследование проводилось на базе ГКБ № 4 г. Москвы, одобрено локальным этическим комитетом при ФГАОУ ВО РНИМУ им Н. И. Пирогова.

Критерии включения в исследование: пациенты с XCH II— III ФК по NYHA в стабильном состоянии, имеющие сохранную мышечную массу диафрагмы более 70% (по данным MIP более 60 см вод. ст.), возраст старше 50 лет, но не более 75 лет, подписанное пациентом информированное согласие. Диагноз XCH установлен на основании результатов исследования уровня NT-ргоВNP в крови (не менее $125\ \text{пг/мл}$) [11].

Критерии невключения: наличие клинически значимой сопутствующей патологии, тяжелой почечной и/или печеночной недостаточности, острого инфекционного заболевания, тяжелой хронической обструктивной болезни легких, эмфиземы легких, онкологического заболевания, анемии, клапанных пороков сердца, патологии диафрагмальной мышцы, часто рецидивирующего клинически значимого гидроторакса, пневмоторакса, обтурационного ателектаза, туберкулеза легких, интерстициальных заболеваний легких, напряженного асцита, алкоголизма, наркомании, курения, психиатрических заболеваний, Не включались в исследование пациенты с нестабильной стенокардией, пациенты в раннем постинфарктном периоде, лица, длительно находившиеся на искусственной вентиляции легких, а также больные с индексом массы тела (ИМТ) менее 20 или более 32 кг/m^2 .

Клиническая характеристика пациентов

В исследование были включены 53 пациента (28 мужчин и 25 женщин) в возрасте от 50 до 75 лет с ишемической болезнью сердца (ИБС) и гипертонической болезнью с ХСН II—III ФК. ХСН II ФК диагностирована у 31 пациента, III ФК – у 22 пациентов. Медианная продолжительность ХСН составила 2 года (межквартильный размах – 2). Медиана ИМТ быал равна 25 кг/м² (межквартильный размах – 2). Постоянная форма фибрилляции предсердий была у 15 пациентов, 7 пациентам установлен электрокардиостимулятор. Инфаркт миокарда перенесли 26 пациентов, коронарное шунтирование 8 пациентов.

Пациенты получали стандартную терапию ХСН: ингибиторы ангиотензинпревращающего фермента получали 52 пациента в дозе, превышающей 50% от максимальной, β -адреноблокаторы в дозе, превышающей 50% от максимальной дозы – 53, антагонисты минералокортикоидных рецепторов – 31, мочегонные препараты – 23, дигоксин – 5, варфарин – 5, новые пероральные антикоагулянты – 10 па-

Таблица 1. Исходные характеристики пациентов

Показатель		Контрольная группа	Статические тренировки	Динамические тренировки	Смешанные тренировки	Значимость различий между группами*
Количество наблюдений		11	14	14	14	-
Доля женщин, %		36,4	42,9	50,0	57,1	0,747
Возраст, лет	Среднее	64,1	66,3	66,4	68,0	0,819
	Медиана	67,0	67,5	67,0	68,0	
	Минимум	50,0	54,0	58,0	55,0	
	Максимум	75,0	75,0	75,0	75,0	
	Стандартное отклонение	10,7	7,3	4,9	5,6	
Доля пациентов с III ФК, %		36	29	43	57	0,474
МІР, см. вод. столба	Среднее	66,1	68,4	67,2	66,9	0,683
	Медиана	65,0	70,0	66,0	67,5	
	Минимум	60,0	60,0	60,0	60,0	
	Максимум	73,0	74,0	74,0	72,0	
	Стандартное отклонение	4,9	4,6	4,6	4,7	
VO _{2peak} , мл/кг/мин	Среднее	12,0	12,8	12,2	12,5	0,454
	Медиана	11,6	13,1	11,7	12,7	
	Минимум	10,2	10,5	10,5	10,4	
	Максимум	14,7	14,6	14,3	14,2	
	Стандартное отклонение	1,5	1,4	1,5	1,4	

 $^{^*}$ – сравнение количественных показателей (сила вдоха, уровень потребления кислорода, возраст) проводилось с использованием критерия Краскела–Уоллиса, сравнение номинальных показателей (пол, ФК NYHA) – с использованием критерия χ^2 . MIP – максимальное инспираторное давление, VO $_{\rm 2peak}$ – пиковое потребление кислорода.



циентов, ацетилсалициловую кислоту – 22, гиполипидемическую терапию – 53, гипотензивную терапию в адекватных дозах.

Пациенты были рандомизированы методом случайных чисел для занятий одним из 4-х вариантов тренировок дыхательной мускулатуры: статические нагрузки, динамические нагрузки, сочетание статических и динамических нагрузок, дыхание без создаваемого сопротивления – контрольная группа.

Исходно группы достоверно не отличались по уровню пикового потребления кислорода (VO_{2peak}) и MIP (табл. 1).

Сравнительные показатели групп пациентов, принимавших участие в исследовании, на момент его начала представлены в таблице 1.

Длительность наблюдения составила 6 мес. Контроль за выполнением тренировок осуществлялся ежемесячно во время телефонных контактов с пациентами.

Всем пациентам исходно и спустя 6 мес. проводились следующие исследования: эхокардиография с определением фракции выброса левого желудочка (Φ B Λ Ж) по Simpson, холтеровское мониторирование для исключения злокачественных аритмий, спирометрия.

Силу дыхательных мышц измеряли по величине MIP с помощью электронного датчика давления прибора micro RPM (Cardinal Health).

Для оценки $VO_{2\,peak}$ и других параметров физической выносливости проводили кардиопульмональный тест на эргоспирометрической системе CARDIOVIT CS-200 Ergo-Spiro в соответствии с рекомендациями Американского торакального общества по модифицированному протоколу Bruse со ступенчатым возрастанием нагрузки [12] исходно и спустя 6 мес. тренировок. Критерием окончания теста служило появление таких симптомов как усталость и/или одышка выраженностью \geq 17 баллов по шкале Борга («очень тяжело») [13].

Для тренировок дыхательных мышц использовался дыхательный тренажер, позволяющий создавать дополнительное сопротивление на вдохе Threshold IMT $^{\circ}$ [14–16]. Тренировки проводились по разработанным нами методикам [5].

Протокол проведения динамической нагрузки

Установив зажим на нос, поместив тренажер в рот и плотно обхватив его губами, пациент совершает непрерывный вдох в течение 2–4 сек, затем спокойный выдох в течение 4–6 сек. Маневр повторяется через 1–2 мин спокойного дыхания, что необходимо для профилактики гипервентиляции.

Исходное сопротивление воздушной струе тренажера устанавливается на уровне 9 см вод. ст. Интенсивность нагрузки увеличивается пациентом на 2 см вод. ст. каждую третью-пятую тренировку с учетом субъективного состояния. Продолжительность тренировки – 15–20 мин. Частота тренировок – 3–5 в неделю.



Для тех, кто любит жизнь всем сердцем!

Эспиро снижает смертность у пациентов с сердечной недостаточностью и перенесших инфаркт миокарда



Снижает внезапную смертность на 1/3² Снижает количество госпитализаций³ Улучшает функцию миокарда⁴

¹Инструкция по медицинскому применению препарата Эспиро ²Pitt Bet. Eur.J Heart Fail/2006:8:295-301. ³Zannadetal., N Engl J Med. (10.1056/NEJM oa 1009492) November 14,2010 ⁴Idelson P. Circ. Heart Fail, 2010:3:347-353

Производитель— фармацевтический завод «Польфарма» АО Польша АО «АКРИХИН», 142 450, Московская область, Ногинский район, г. Старая Купавна, ул. Кирова, 29, телефон/факс (495) 702-95-03



Таблица 2. Сравнительные показатели групп пациентов по результатам различных вариантов тренировок дыхательной мускулатуры через 6 мес.

Показатель		Контрольная группа	Статические тренировки	Динамические тренировки	Смешанные тренировки	Значимость различий между группами
АМІР см. вод. столба	Среднее	1,5	5,3	12,9	23,6	0,000
	Медиана	2,0	5,0	13,0	23,5	
	Минимум	0,0	2,0	9,0	13,0	
	Максимум	2,0	12,0	19,0	36,0	
	Стандартное отклонение	0,7	2,7	2,4	6,2	
$\Delta { m VO}_{ m 2peak}$ мл/кг/мин	Среднее	0,2	0,9	1,8	3,5	0,000
	Медиана	0,2	0,8	1,8	3,4	
	Минимум	0,0	0,5	1,4	2,1	
	Максимум	0,4	1,4	2,4	4,9	
	Стандартное отклонение	0,1	0,3	0,3	0,8	

Протокол проведения статической нагрузки

Стартовое сопротивление воздушной струе тренажера устанавливается на уровне 9 см вод. ст., после чего пациент, плотно обхватив тренажер губами, делает вдох, удерживая сопротивление на тренажере в течение 3–5 сек. Далее пациент спокойно дышит в течение 1–3 мин. Продолжительность тренировки – 15–20 мин. Частота тренировок – 3–5 в неделю.

Протокол сочетанных нагрузок

Пациент попеременно выполняет статическую и динамическую нагрузки: 1 цикл динамической нагрузки, 1-2 мин отдыха для профилактики гипервентиляции, 1 цикл статической нагрузки, 1-2 мин отдыха с последующим повторением последовательности нагрузок. Продолжительность тренировки – 15-20 мин. Частота тренировок – 3-5 в неделю. Эффективность тренировок оценивалась через 6 мес.

Статистические методы

Обработка полученных в ходе исследования данных осуществлялась с использованием статистического пакета IBM SPSS Statistics 25. При анализе числовых переменных использовались исключительно непараметрические тесты: показатели дыхательной активности (сила вдоха, уровень потребления кислорода) и отдельные прочие переменные (возраст) не имели нормального распределения (на основании графического анализа и критерия согласия Шапиро–Уилка).

Анализ данных был проведен в 2 этапа: а) проверка сопоставимости выделенных групп пациентов; б) оценка взаимосвязи между видами тренировок и динамикой показателей дыхательной активности. Для обеих целей использовались тесты на наличие межгрупповых различий: Краскела–Уоллиса для числовых переменных (возраст, показатели дыхательной активности) и χ^2 – для категориальных (пол, классы NYHA). Все сравнения проводились на уровне значимости p=0,05. Апостериорные попарные сравнения групп проводились с использованием критерия Манна-Уитни и поправки Бонферрони.

Результаты

Из 53 пациентов, включенных в исследование, полностью завершили его 49 человек. 4 пациента (2 из группы статических тренировок и по 1 из групп динамических и сочетанных тренировок) были досрочно исключены в связи с низкой приверженностью к тренировкам (менее 40%). Летальных исходов в исследуемых группах за период наблюдения не было. В течение исследования изменений в терапии ХСН во всех группах не было, за исключением группы контроля, трем пациентам которой потребовалось усиление мочегонной терапии в связи с декомпенсацией сердечной недостаточности.

В группе смешанных тренировок 3 пациента были госпитализированы в связи с пароксизмом фибрилляции предсердий, в группе статических тренировок было 5 госпитализаций по поводу пароксизмов фибрилляции предсердий, в группе динамических тренировок 5 пациентов госпитализированы по поводу нарушения ритма сердца, 3 больных из контрольной группы госпитализированы в связи с декомпенсацией кровообращения. Пневмонию перенесли 2 человека из группы контроля.

Спустя 6 мес. от начала исследования во всех группах больных отмечалось увеличение функциональной выносливости, оцениваемой по величине прироста $VO_{2 peak}$ (рис. 1, табл. 2).

Во всех исследуемых группах отмечалось улучшение показателей физической выносливости, статистически значимое по сравнению с исходными значениями (p<0,05). При попарном сравнении (рис. 1) группы также значимо отличались между собой (p<0,01). Наибольшее улучшение продемонстрировали пациенты из группы динамических и сочетанных тренировок. При этом результаты в группе сочетанных тренировок были достоверно выше, чем в группе только динамических нагрузок.



Сила дыхательной мускулатуры увеличилась во всех группах тренируемых (рис. 1, табл. 2).

Межгрупповые различия как прироста силы вдоха, так и прироста уровня потребления кислорода оказались значимы. Более того, при уровне p=0,0085 (минимальный уровень необходимый для подтверждения различий при 6 межгрупповых сравнениях) значимыми оказались и все попарные различия. Можно достоверно утверждать, что улучшение показателей в группе со статико-динамическими тренировками были самым высоким; в группе с динамическими тренировками – выше, чем в группах со статическими тренировками и контрольной; в группе со статическими тренировками – выше, чем в контрольной.

Таким образом, наибольшая достоверная положительная динамика силы мышц вдоха отмечалась в группах с динамическими и смешанными тренировками, причем лучшие результаты получены у пациентов группы сочетанных тренировок.

Следовательно, сочетанные тренировки были наиболее эффективными, в улучшении состояния дыхательной мускулатуры по данным МІР. Именно у пациентов этой группы отмечалось максимальное улучшении функционального состояния согласно приросту ${\rm VO}_{\rm 2~peak}$. Исходя из этого, для больных ХСН, имеющих наиболее сохраненную мышечную массу диафрагмы, самыми эффективными являются тренировки, сочетающие статические и динамические дыхательные упражнения.

Обсуждение

В ряде предыдущих работ было продемонстрировано, что тренировки дыхательной мускулатуры повышают эффективность реабилитации пациентов с ХСН [17–23]. Тренировки дыхательной мускулатуры, увеличивая силу и выносливость дыхательных мышц [1,2,24–27], повышая эффективность газообмена, приводят к улучшению спирометрических

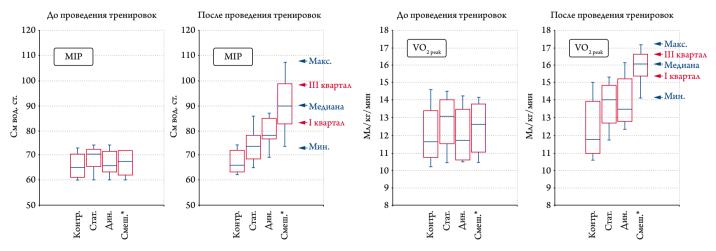
показателей и сатурации артериальной крови кислородом, способствуют частичному регрессу метаболических нарушений в дыхательной мускулатуре [1, 28-31], что в свою очередь ведет к уменьшению одышки и увеличению толерантности к физической нагрузке [1, 2, 25-27, 32-37].

Фактором, ограничивающим потенциальную эффективность тренировок дыхательной мускулатуры при ХСН, является исходное состояние диафрагмальной мышцы, степень ее морфологической перестройки. В недавно проведенной работе морфологические исследования показали, что по мере прогрессирования ХСН в диафрагме происходит замещение мышечной ткани жировой и соединительной, причем в диафрагме данный процесс начинается раньше, чем в периферической мускулатуре [7]. Поскольку замещение мышечной ткани на соединительную носит индивидуальный характер, данные об этих изменениях могут служить основой для индивидуализированных программ тренировок. Для нас представляло интерес выяснить насколько эффективными являются различные режимы тренировок дыхательной мускулатуры у больных с сохраненной мышечной массой диафрагмы.

Механизм влияния тренировок по преодолению сопротивления на морфологические изменения в диафрагмальной мышце неизвестен до конца, однако в проспективном исследовании показано [6], что такие тренировки приводят к увеличению максимальной толщины диафрагмальной мышцы. Можно предположить, что наиболее вероятным механизмом таких изменений является развивающаяся гипертрофия оставшихся функционирующих мышечных волокон, что способствует увеличению силы вдоха.

В настоящее исследование были включены пациенты с XCH, у которых мышечная масса диафрагмы превышала 70% общей массы диафрагмы, что позволяло в ходе тренировок добиться у этих пациентов рабочей гипертрофии мышечных волокон диафрагмы и усилить силу вдоха. Анализ изме-

Рисунок 1. Квартильное распределение показателей максимального инспираторного давления и пикового потребления кислорода до и после проведения тренировок



 $VO_{2\text{peak}}$ – пиковое потребление кислорода. МІР – максимальное инспираторное давление. Контр. – контрольная группа, стат. – статические тренировки, дин. – динамические тренировки, смеш. – смешанные тренировки.



нений силы вдоха при разных режимах тренировок показал, что сочетанные тренировки способствуют наибольшему приросту силы вдоха. Прирост МІР в данной группе пациентов составил в среднем 23,6 см вод ст.

Особый интерес представляют результаты исследования эффективности статических нагрузок. Нам не удалось найти крупных исследований влияния статических нагрузок на долгосрочный прогноз у больных ХСН. В нашем исследовании при сравнении этих пациентов с пациентами, выполнявшими динамические нагрузки, у которых прирост МІР составил в среднем 12,9 см вод. ст., была показана меньшая эффективность статических нагрузок, прирост МІР у больных этой группы был минимальным – в среднем 5,3 см вод. ст. Это позволяет считать, что статические нагрузки у больных ХСН с сохраненной мышечной массой диафрагмы менее эффективны, чем динамические нагрузки. Тем не менее при сочетании статических и динамических нагрузок МІР, которое расценивается нами как интегральный показатель оценки сохраненной мышечной массы диафрагмы, увеличился достоверно и в наибольшей степени по сравнению с другими видами нагрузок. Не совсем ясно, почему сочетание нагрузочных режимов было столь значимо и почему только статические нагрузки не привели к значимым изменениям МІР.

Вопрос о механизме благоприятного влияния сочетанных динамических и статических нагрузок на сохраненную мышечную ткань диафрагмы не ясен и требует дальнейшего уточнения. Тем не менее уже в настоящее время можно говорить о большей эффективности применения сочетания динамических и статических тренировок дыхательной мускулатуры у больных ХСН с сохраненной мышечной массой диафрагмы.

Ограничения исследования

Анализ результатов исследования проводился без учета пациентов, исключенных из исследования в связи с низкой приверженностью к рекомендованным нагрузкам.

Показатель, свидетельствующий о сохранности более 70% мышечной массы диафрагмы у больных ХСН- МІР 60 см вод. ст., использован нами на основании установленной ранее высокой корреляции между уровнем МІР и процентным содержанием мышечной массы в структуре диафрагмы.

В настоящее время не представляется возможным провести исследование по определению чувствительности и специфичности данного критерия в достаточных для получения достоверных результатов объемах из-за узкого временного окна между проведением прижизненных функциональных исследований и последующей посмертной аутопсией. Такая работа продолжается, однако за последний год, нам удалось включить в исследование 7 пациентов.

Заключение

Сравнение трех режимов тренировок дыхательной мускулатуры (динамические, статические и их сочетанние) позволяет сказать, что наиболее перспективным методом длительных тренировок дыхательных мышц у больных ХСН II–III ФК, с сохранением более чем 70% мышечной ткани диафрагмы (по данным МІР более 60 см вод. ст.) является сочетание динамических и статических нагрузочных режимов.

Конфликт интересов не заявлен.

Статья поступила 03.09.2020

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Mancini DM, Henson D, La Manca J, Donchez L, Levine S. Benefit of selective respiratory muscle training on exercise capacity in patients with chronic congestive heart failure. Circulation. 1995;91(2):320–9. PMID: 7805234
- 2. Weiner P, Magadle R, Berar-Yanay N, Pelled B. The effect of specific inspiratory muscle training on the sensation of dyspnea and exercise tolerance in patients with congestive heart failure. Clinical Cardiology. 1999;22(11):727–32. DOI: 10.1002/clc.4960221110
- Piepoli MF, Conraads V, Corrà U, Dickstein K, Francis DP, Jaarsma T et al. Exercise training in heart failure: from theory to practice. A consensus document of the Heart Failure Association and the European Association for Cardiovascular Prevention and Rehabilitation. European Journal of Heart Failure. 2011;13(4):347–57. DOI: 10.1093/ eurjhf/hfr017
- 4. Smart NA, Giallauria F, Dieberg G. Efficacy of inspiratory muscle training in chronic heart failure patients: A systematic review and meta-analysis. International Journal of Cardiology. 2013;167(4):1502–7. DOI: 10.1016/j.ijcard.2012.04.029
- 5. Arutyunov G.P., Kolesnikova E.A., Begrambekova Yu.L., Orlova Ya.A., Rylova A.K., Aronov D.M. et al. Exercise training in chronic heart failure: practical guidance of the Russian Heart Failure Society. Russian Heart Failure Journal. 2017;18(1):41–66. [Russian: Арутюнов Г.П., Колесникова Е.А., Беграмбекова Ю.Л., Орлова Я.А., Рылова А.К., Аронов Д.М. и др. Рекомендации по назначению физических тренировок пациентам с хронической сердечной недостаточностью. Журнал Сердечная

- Недостаточность. 2017;18(1):41-66.]. DOI: 10.18087/rh-fi.2017.1.2339
- Souza H, Rocha T, Pessoa M, Rattes C, Brandao D, Fregonezi G et al. Effects of Inspiratory Muscle Training in Elderly Women on Respiratory Muscle Strength, Diaphragm Thickness and Mobility. The Journals of Gerontology Series A: Biological Sciences and Medical Sciences. 2014;69(12):1545–53. DOI: 10.1093/gerona/glu182
- 7. Arutyunov A.G., Ilyina K.V., Arutyunov G.P., Kolesnikova E.A., Pchelin V.V., Kulagina N.P. et al. Morphofunctional Features of The Diaphragm in Patients With Chronic Heart Failure. Kardiologiia. 2019;59(1):12–21. [Russian: Арутюнов А.Г., Ильина К.В., Арутюнов Г.П., Колесникова Е.А., Пчелин В.В., Кулагина Н.П. и др. Морфофункциональные особенности диафрагмы у больных с хронической сердечной недостаточностью. Кардиология. 2019;59(1):12-21]. DOI: 10.18087/cardio.2019.1.2625
- Tucker WJ, Lijauco CC, Hearon CM, Angadi SS, Nelson MD, Sarma S et al. Mechanisms of the Improvement in Peak VO₂ With Exercise Training in Heart Failure With Reduced or Preserved Ejection Fraction. Heart, Lung and Circulation. 2018;27(1):9–21. DOI: 10.1016/j. hlc.2017.07.002
- Tucker WJ, Haykowsky MJ, Seo Y, Stehling E, Forman DE. Impaired Exercise Tolerance in Heart Failure: Role of Skeletal Muscle Morphology and Function. Current Heart Failure Reports. 2018;15(6):323–31. DOI: 10.1007/s11897-018-0408-6
- 10. Meyer FJ, Borst MM, Zugck C, Kirschke A, Schellberg D, Kübler W et al. Respiratory Muscle Dysfunction in Congestive Heart Fail-



- ure: Clinical Correlation and Prognostic Significance. Circulation. 2001;103(17):2153–8. DOI: 10.1161/01.CIR.103.17.2153
- Mareev V.Yu., Ageev F.T., Arutyunov G.P., Koroteev A.V., Mareev Yu.V., Ovchinnikov A.G. et al. SEHF, RSC and RSMSIM national guidelines on CHF diagnostics and treatment (fourth revision) Approved at the SEHF Congress on December 7, 2012, at the SEHF Board of Directors meeting on March 31, 2013, and at the RSC Congress on September 25, 2013. Russian Heart Failure Journal. 2013;14(7):379–472. [Russian: Мареев В.Ю., Агеев Ф.Т., Арутюнов Г.П., Коротеев А.В., Мареев Ю.В., Овчинников А.Г. и др. Национальные рекомендации ОССН, РКО и РНМОТ по диагностике и лечению ХСН (четвертый пересмотр). Утверждены на Конгрессе ОССН 7 декабря 2012 года, на Правлении ОССН 31 марта 2013 и Конгрессе РКО 25 сентября 2013 года. Журнал Сердечная Недостаточность. 2013;14(7):379-472.]
- Balady GJ, Arena R, Sietsema K, Myers J, Coke L, Fletcher GF et al. Clinician's Guide to Cardiopulmonary Exercise Testing in Adults: A Scientific Statement From the American Heart Association. Circulation. 2010;122(2):191–225. DOI: 10.1161/CIR.0b013e3181e52e69
- 13. Froelicher VF, Myers J. Manual of exercise testing. US: Mosby;2007. 349 p. ISBN 0-323-03302-4
- Kolesnikova E.A., Arutyunov G.P., Rylova A.K., Rylova N.V. P490. Long-term effects of respiratory muscle trainings started in acute period of complicated myocardial infarction. Poster session 3. European Journal of Preventive Cardiology. 2012;19(1 Suppl 1):S93. DOI: 10.1177/2047487312448008
- Kolesnikova EA, Arutyunov GP, Rylova AK, Lobzeva V. P385. Physical rehabilitation in patients with severe heart failure. Circulation. 2015;131(Suppl 1):AP385. [Av. at: https://www.ahajournals.org/doi/10.1161/circ.131.suppl 1.p385]
- 16. Arutyunov G.P., Kolesnikova E.A., Rylova A.K. Current approaches to rehabilitation of patients with chronic heart failure. CardioSomatika. 2010;1:20–4. [Russian: Арутюнов Г.П., Колесникова Е.А., Рылова А.К. Современные подходы к реабилитации больных с хронической сердечной недостаточностью. CardioCоматика. 2010;1:20–4]
- 17. Cahalin LP, Arena R, Guazzi M, Myers J, Cipriano G, Chiappa G et al. Inspiratory muscle training in heart disease and heart failure: a review of the literature with a focus on method of training and outcomes. Expert Review of Cardiovascular Therapy. 2013;11(2):161–77. DOI: 10.1586/erc.12.191
- Cahalin LP, Arena RA. Breathing Exercises and Inspiratory Muscle Training in Heart Failure. Heart Failure Clinics. 2015;11(1):149–72. DOI: 10.1016/j.hfc.2014.09.002
- Sadek Z, Salami A, Joumaa WH, Awada C, Ahmaidi S, Ramadan W. Best mode of inspiratory muscle training in heart failure patients: a systematic review and meta-analysis. European Journal of Preventive Cardiology. 2018;25(16):1691–701. DOI: 10.1177/2047487318792315
- 20. Wu J, Kuang L, Fu L. Effects of inspiratory muscle training in chronic heart failure patients: A systematic review and meta-analysis. Congenital Heart Disease. 2018;13(2):194–202. DOI: 10.1111/chd.12586
- 21. Gomes Neto M, Ferrari F, Helal L, Lopes AA, Carvalho VO, Stein R. The impact of high-intensity inspiratory muscle training on exercise capacity and inspiratory muscle strength in heart failure with reduced ejection fraction: a systematic review and meta-analysis. Clinical Rehabilitation. 2018;32(11):1482–92. DOI: 10.1177/0269215518784345
- Jugdutt BI, Michorowski BL, Kappagoda CT. Exercise training after anterior Q wave myocardial infarction: Importance of regional left ventricular function and topography. Journal of the American College of Cardiology. 1988;12(2):362–72. DOI: 10.1016/0735-1097(88)90407-X
- Principles and practice of pulmonary rehabilitation. Killian K.
 Dyspnea: implications for rehabilitation. P. 103-114. Casaburi R, Pet-

- ty TL, editors -Philadelphia: Saunders;1993. 508 p. ISBN 978-0-7216-3304-6
- Johnson P. A randomized controlled trial of inspiratory muscle training in stable chronic heart failure. European Heart Journal. 1998;19(8):1249–53. DOI: 10.1053/euhj.1998.1024
- Dall'Ago P, Chiappa GRS, Guths H, Stein R, Ribeiro JP. Inspiratory muscle training in patients with heart failure and inspiratory muscle weakness: a randomized trial. Journal of the American College of Cardiology. 2006;47(4):757–63. DOI: 10.1016/j.jacc.2005.09.052
- Bosnak-Guclu M, Arikan H, Savci S, Inal-Ince D, Tulumen E, Aytemir K et al. Effects of inspiratory muscle training in patients with heart failure. Respiratory Medicine. 2011;105(11):1671–81. DOI: 10.1016/j.rmed.2011.05.001
- 27. Laoutaris I, Dritsas A, Brown MD, Manginas A, Alivizatos PA, Cokkinos DV. Inspiratory muscle training using an incremental endurance test alleviates dyspnea and improves functional status in patients with chronic heart failure. European Journal of Cardiovascular Prevention & Rehabilitation. 2004;11(6):489–96. DOI: 10.1097/01. hjr.0000152242.51327.63
- Chiappa GR, Roseguini BT, Vieira PJC, Alves CN, Tavares A, Winkelmann ER et al. Inspiratory muscle training improves blood flow to resting and exercising limbs in patients with chronic heart failure. Journal of the American College of Cardiology. 2008;51(17):1663–71. DOI: 10.1016/j.jacc.2007.12.045
- Winkelmann ER, Chiappa GR, Lima COC, Viecili PRN, Stein R, Ribeiro JP. Addition of inspiratory muscle training to aerobic training improves cardiorespiratory responses to exercise in patients with heart failure and inspiratory muscle weakness. American Heart Journal. 2009;158(5):768.e1-768.e7. DOI: 10.1016/j.ahj.2009.09.005
- Floras JS. Sympathetic activation in human heart failure: diverse mechanisms, therapeutic opportunities. Acta Physiologica Scandinavica. 2003;177(3):391–8. DOI: 10.1046/j.1365-201X.2003.01087.x
- Opasich C, Ambrosino N, Felicetti G, Aquilani R, Pasini E, Bergitto D et al. Heart failure-related myopathy. Clinical and pathophysiological insights. European Heart Journal. 1999;20(16):1191–200. DOI: 10.1053/euhj.1999.1523
- Cahalin LP, Semigran MJ, Dec GW. Inspiratory Muscle Training in Patients With Chronic Heart Failure Awaiting Cardiac Transplantation: Results of a Pilot Clinical Trial. Physical Therapy. 1997;77(8):830–8. DOI: 10.1093/ptj/77.8.830
- Martínez A, Lisboa C, Jalil J, Muñoz V, Díaz O, Casanegra P et al. Selective training of respiratory muscles in patients with chronic heart failure. Revista Medica De Chile. 2001;129(2):133–9. PMID: 11351463
- 34. Laoutaris ID, Dritsas A, Brown MD, Manginas A, Kallistratos MS, Degiannis D et al. Immune response to inspiratory muscle training in patients with chronic heart failure. European Journal of Cardiovascular Prevention & Rehabilitation. 2007;14(5):679–86. DOI: 10.1097/HJR.0b013e3281338394
- Laoutaris ID, Dritsas A, Brown MD, Manginas A, Kallistratos MS, Chaidaroglou A et al. Effects of Inspiratory Muscle Training on Autonomic Activity, Endothelial Vasodilator Function, and N-Terminal Pro-brain Natriuretic Peptide Levels in Chronic Heart Failure. Journal of Cardiopulmonary Rehabilitation and Prevention. 2008;28(2):99– 106. DOI: 10.1097/01.HCR.0000314203.09676.b9
- 36. Padula CA, Yeaw E, Mistry S. A home-based nurse-coached inspiratory muscle training intervention in heart failure. Applied Nursing Research. 2009;22(1):18–25. DOI: 10.1016/j.apnr.2007.02.002
- 37. Laoutaris ID, Adamopoulos S, Manginas A, Panagiotakos DB, Kallistratos MS, Doulaptsis C et al. Benefits of combined aerobic/resistance/inspiratory training in patients with chronic heart failure. A complete exercise model? A prospective randomised study. International Journal of Cardiology. 2013;167(5):1967–72. DOI: 10.1016/j.ijcard.2012.05.019