

## ЭЛЕКТРОМИОСТИМУЛЯЦИЯ ИНСПИРАТОРНЫХ МЫШЦ ПРИ ХРОНИЧЕСКОЙ СЕРДЕЧНОЙ НЕДОСТАТОЧНОСТИ

Силкина Т.А., Иванов К.М.

*ФГБОУ ВО «Оренбургский государственный медицинский университет» Минздрава России, Оренбург, e-mail: office@orgma.ru*

**Цель исследования:** оценить эффективность применения электромиостимуляции инспираторных мышц у пациентов со сниженной силой инспираторных мышц с хронической сердечной недостаточностью с сохраненной фракцией выброса левого желудочка. Для исследования были отобраны 15 пациентов с хронической сердечной недостаточностью I и IIА стадий, не достигших должных значений максимального инспираторного давления, которым было назначено 10 сеансов чрескожной электромиостимуляции инспираторных мышц. Всем проводились определение концентрации NT-proBNP в сыворотке крови, силы инспираторных мышц, тест с 6-минутной ходьбой, поверхностная электромиография диафрагмы, наружных межреберных мышц и грудино-ключично-сосцевидной мышцы с использованием трех нагрузочных проб. Статистическая обработка проводилась с помощью непараметрических методов. После проведения курса электромиостимуляции инспираторных мышц было показано увеличение пройденной дистанции в тесте с шестиминутной ходьбой на 11,3% ( $p < 0,01$ ), силы инспираторных мышц на 18% ( $p < 0,01$ ), прироста амплитуды электромиограммы наружных межреберных мышц во всех трех пробах и диафрагмы в двух пробах с нагрузкой высокой мощности. Электромиостимуляция инспираторных мышц способствует улучшению функционального состояния инспираторных мышц и повышению физической толерантности пациентов с хронической сердечной недостаточностью с сохраненной фракцией выброса левого желудочка.

**Ключевые слова:** хроническая сердечная недостаточность, инспираторные мышцы, максимальное инспираторное давление, электромиография, электромиостимуляция.

## ELECTROMYOSTIMULATION OF INSPIRATORY MUSCLES IN CHRONIC HEART FAILURE

Silkina T.A., Ivanov K.M.

*FGBOU VO «Orenburg State Medical University» Ministry of Health of Russia, Orenburg, e-mail: office@orgma.ru*

**Purpose of the study:** to evaluate the effectiveness of electrical myostimulation of the inspiratory muscles in patients with reduced strength of the inspiratory muscles and chronic heart failure with preserved left ventricular ejection fraction. For the study, 15 patients with chronic heart failure of stages I and IIА were selected, who had not reached the proper values of maximum inspiratory pressure, who were prescribed 10 sessions of transcutaneous electrical myostimulation of the inspiratory muscles. All patients underwent determination of serum NT-proBNP concentration, inspiratory muscle strength, 6-minute walk test, surface electromyography of the diaphragm, external intercostal muscles and sternocleidomastoid muscle using three stress tests. Statistical processing was carried out using nonparametric methods. After a course of electromyostimulation of the inspiratory muscles, an increase in the distance covered in the six-minute walk test was shown by 11.3% ( $p < 0,01$ ), strength of the inspiratory muscles by 18% ( $p < 0,01$ ), and an increase in the amplitude of the electromyogram of the external intercostal muscles in all three stress tests and diaphragm in two tests with high load. Electromyostimulation of the inspiratory muscles helps improve the functional state of the inspiratory muscles and increase the physical tolerance of patients with chronic heart failure with preserved left ventricular ejection fraction.

**Keywords:** chronic heart failure, inspiratory muscles, maximal inspiratory pressure, electromyography, electromyostimulation.

### Введение

Хроническая сердечная недостаточность (ХСН) является одной из ведущих проблем кардиологии и затрагивает значительную часть взрослого населения во всем мире [1]. Показано, что в скелетных мышцах при ХСН происходит структурно-функциональная перестройка, являющаяся результатом ухудшения кровоснабжения и нарушения метаболизма

и выражающаяся в изменении волоконного состава мышц, увеличении количества жировой и соединительной ткани [2, 3]. Подобные изменения происходят и в дыхательных мышцах, в частности в инспираторных мышцах, которые из-за наличия одышки испытывают дополнительную нагрузку и демонстрируют утомление и снижение силы [4]. Известно, что наряду с аэробными и дыхательными тренировками при помощи электрических импульсов можно нормализовать нарушенную функцию дыхательных мышц и улучшить функциональное состояние пациентов с ХСН [5, 6]. Широко освещено применение электромиостимуляции (ЭМС) мышц нижних конечностей у больных с тяжелой ХСН [7]. Однако данных о возможности применения ЭМС инспираторных мышц, испытывающих повышенную нагрузку, у пациентов с ХСНсФВ начальной и клинически выраженной стадий недостаточно.

**Цель исследования** – определить эффективность применения электромиостимуляции инспираторных мышц у пациентов с хронической сердечной недостаточностью с сохраненной фракцией выброса левого желудочка и слабостью инспираторных мышц.

**Материалы и методы исследования.** Исследование получило одобрение локального этического комитета ФГБОУ ВО «Оренбургский государственный медицинский университет» Минздрава России (протокол № 281 от 30.09.2021 г.). Для исследования были отобраны 15 пациентов обоего пола в возрасте от 45 до 74 лет с ХСНсФВ начальной и клинически выраженной стадий, не достигших должных значений максимального инспираторного давления (maximal inspiratory pressure, MIP), которым было назначено 10 сеансов электростимуляции инспираторных мышц.

Критерии включения: возраст от 45 до 74 лет, наличие ХСНсФВ начальной и клинически выраженной стадий. Критерии исключения: ХСН с умеренно сниженной и низкой фракцией выброса левого желудочка, тяжелая стадия ХСН, острый инфаркт миокарда и нестабильная стенокардия, фибрилляция предсердий, экстрасистолия, заболевания органов дыхания, острое нарушение мозгового кровообращения в анамнезе, сахарный диабет, ожирение 3-й степени, выраженная деформация грудной клетки, прием препаратов, замедляющих нервно-мышечную проводимость, отказ от участия в исследовании.

ХСН диагностировалась в соответствии с клиническими рекомендациями Российского кардиологического общества (2020). N-терминальный фрагмент мозгового натрийуретического пропептида (NT-proBNP) определяли в сыворотке крови методом иммуноферментного анализа («Вектор-Бест»). Исследование структурно-функционального состояния сердца проводили с помощью эхокардиографии в М- и В-режимах с определением фракции выброса левого желудочка по Simpson. Тест с 6-минутной ходьбой проводили по общепринятой методике [8].

В качестве показателя силы инспираторных мышц использовали МIP, измеряемое на уровне полости рта по методике ATS/ERS (2002) спирометром MicroRPM (Vyairе Medical, США). В положении сидя проводили трехкратное измерение МIP с временным интервалом между попытками не менее 1 минуты. Для предотвращения утечки воздуха использовали носовой зажим. Пациент выполнял маневр МIP от уровня остаточного объема легких (после полного выдоха). Длительность каждого маневра во время теста оценки силы дыхательной мускулатуры составляла не менее 1,5 с. Расчет должного уровня МIP у пациентов в возрасте до 70 лет проводили по формулам J.A. Evans [9]:  $MIP=120 - (0,41 \cdot \text{возраст})$  – для мужчин;  $MIP=108 - (0,61 \cdot \text{возраст})$  – для женщин; для возраста от 70 лет использовали формулы, предложенные S.H. Wilson [10]:  $MIP = 142 - 1,03 \cdot \text{возраст}$  – для мужчин,  $MIP = -43 + 0,71 \cdot \text{рост}$  – для женщин.

Электрическую активность инспираторных мышц (диафрагмы, грудино-ключично-сосцевидной мышцы, наружных межреберных мышц) регистрировали при помощи биполярной поверхностной электромиографии («Нейро-МВП», Нейрософт, Россия). Проводили оценку средней амплитуды электромиограммы (ЭМГ) в микровольтах (мкВ) и средней частоты ЭМГ в герцах (Гц). Электроды накладывали в 7-е межреберье на уровне наружного края прямой мышцы живота для регистрации электрической активности диафрагмы, в 3-е межреберье по среднеключичной линии – для регистрации электрической активности наружных межреберных мышц, на 2 см выше ключицы – для регистрации электрической активности грудино-ключично-сосцевидной мышцы. Во избежание помех от электрической активности сердца электроды при проведении электромиографии накладывали с правой стороны тела.

Регистрацию показателей ЭМГ проводили в положении сидя в покое и при выполнении трех функциональных нагрузочных проб. Предварительно у пациентов определяли уровень максимального инспираторного усилия по шкале тягонапоромера. 1-я нагрузочная проба проводилась с удержанием инспираторного усилия мощностью 30% от максимального в течение 15 секунд с анализом показателей ЭМГ в конце 5-й, 10-й и 15-й секунд. 2-я нагрузочная проба проводилась с удержанием инспираторного усилия мощностью 50% от максимального в течение 5 секунд. 3-я нагрузочная проба проводилась с удержанием инспираторного усилия мощностью 70% от максимального в течение 5 секунд. Показатели ЭМГ при проведении 2-й и 3-й проб анализировали в конце 5-й секунды. Анализ амплитуды и частоты ЭМГ проводили путем ручного выделения отрезков продолжительностью 100–200 мс в конце выполнения каждой пробы. Каждую нагрузочную пробу проводили 3 раза с периодом отдыха между попытками в 3 минуты.

ЭМС инспираторных мышц проводили на аппарате «Эсма 12.20» переменным током. Использовали 2 пары электродов размером 9 см на 15 см, которые устанавливали сзади на уровне Th VII – Th XII паравертебрально, спереди – между парастернальной и среднеключичной линиями на уровне 5–7-х межреберий. Силу тока регулировали индивидуально по переносимости пациентом. Длительность импульсов стимуляции составляла 5 секунд с паузами 2 секунды. Длительность процедуры составляла 20 минут, курс – 10 процедур [6, с. 35–36]. Эффект от проведенного курса ЭМС оценивали через 10 дней по данным повторного обследования – электромиографии инспираторных мышц, теста с 6-минутной ходьбой, определению силы инспираторных мышц.

Статистическую обработку осуществляли в программе «Statistica 10.0» (Statsoft Inc., США). Данные представлены в виде медианы, верхнего и нижнего квартилей (Me (Q1; Q3)). Проверку нормальности распределения изучаемых параметров проводили с помощью критериев Шапиро–Уилка и Колмогорова–Смирнова. Сравнительный анализ групп проводили с помощью непараметрических методов (критерий Вилкоксона). Показатели считали статистически значимыми при  $p < 0,05$ .

**Результаты исследования и их обсуждение.** В группу пациентов, прошедших курс ЭМС инспираторных мышц, вошли 15 пациентов, не достигших должных значений МРР согласно формуле J.A. Evans или S.H. Wilson в зависимости от возраста. Медиана возраста пациентов составила 60,5 [56,5;69,0] года, среди них 40% составили мужчины, 60% – женщины. У 9 пациентов была установлена ХСН I стадии, у 6 – IIА стадии. Медиана пройденной дистанции в тесте с 6-минутной ходьбой составила 452,0 [390,0; 522,5] метра. У 9 пациентов по результатам теста с 6-минутной ходьбой был определен I функциональный класс (ФК) ХСН, у 4 – II ФК, у 2 – III ФК. Медиана концентрации NT-proBNP в сыворотке крови составила 221,2 [127,3; 387,6] пг/мл. У всех обследованных пациентов была установлена гипертоническая болезнь (ГБ), у 46,7% была диагностирована ИБС, из них 13,3% перенесли инфаркт миокарда.

По результатам контрольного проведения теста с 6-минутной ходьбой после курса ЭМС отмечалось статистически значимое увеличение пройденной дистанции на 11,3%, и результат составил 503,0 [403,0; 555,0] метра ( $p < 0,01$ ).

После прохождения курса ЭМС МРР по сравнению с исходным увеличилось на 18,0% и достигло 72,0 [66,5;83,0] мм вод. ст. ( $p < 0,01$ ) (рис. 1).

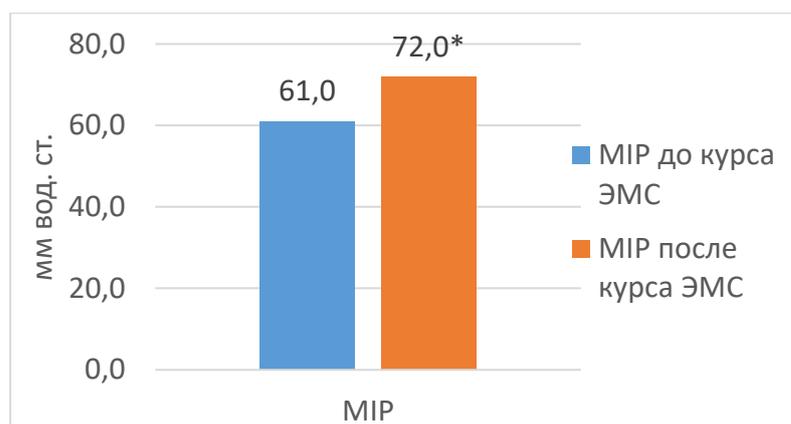


Рис. 1. Динамика силы инспираторных мышц до и после курса ЭМС

Примечание: \* –  $p < 0,05$  между группами

При анализе результатов ЭМГ по окончании курса ЭМС были выявлены следующие изменения. На наружных межреберных мышцах отмечалось статистически значимое увеличение амплитуды ЭМГ на 5-й секунде на 23,7% ( $p=0,03$ ), 10-й секунде – на 25,1% ( $p < 0,01$ ), 15-й секунде – на 22,6% ( $p < 0,01$ ) по сравнению с исходным при выполнении 1-й попытки 1-й пробы (рис. 2).

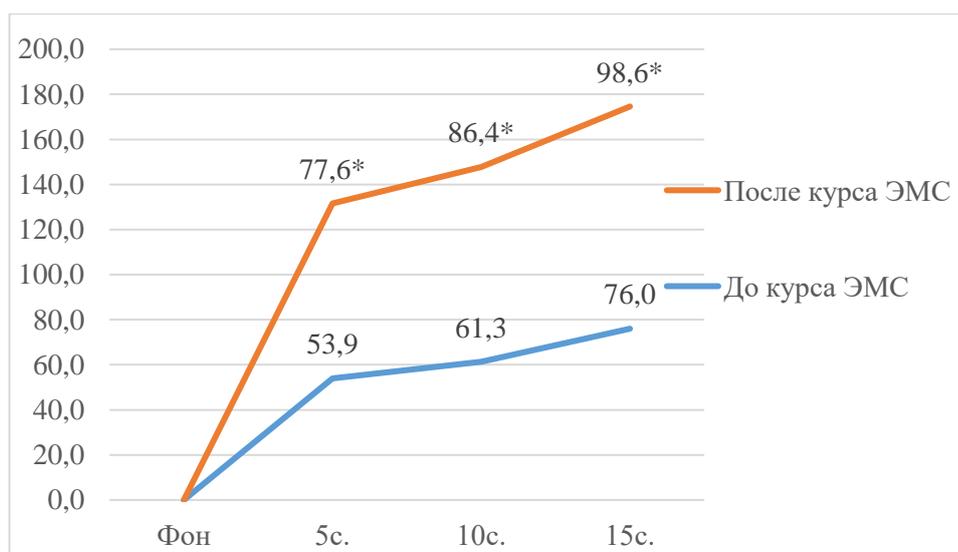


Рис. 2. Динамика амплитуды ЭМГ на наружных межреберных мышцах в 1-й пробе до и после курса ЭМС

Примечание: \* –  $p < 0,05$  между группами

При выполнении 2-й пробы также происходило увеличение амплитуды ЭМГ наружных межреберных мышц на 28,4% ( $p=0,015$ ) (рис. 3).

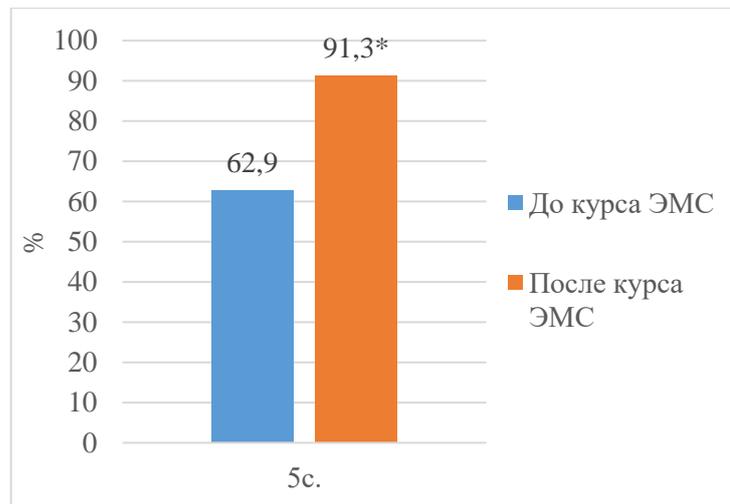


Рис. 3. Динамика амплитуды ЭМГ на наружных межреберных мышцах во 2-й пробе до и после курса ЭМС

Примечание: \* –  $p < 0,05$  между группами

По результатам выполнения 3-й пробы также было выявлено увеличение прироста амплитуды ЭМГ наружных межреберных мышц к 5-й секунде: в 1-й попытке – на 53,4% ( $p=0,003$ ), во 2-й – на 42,9% ( $p=0,007$ ) (рис. 4).

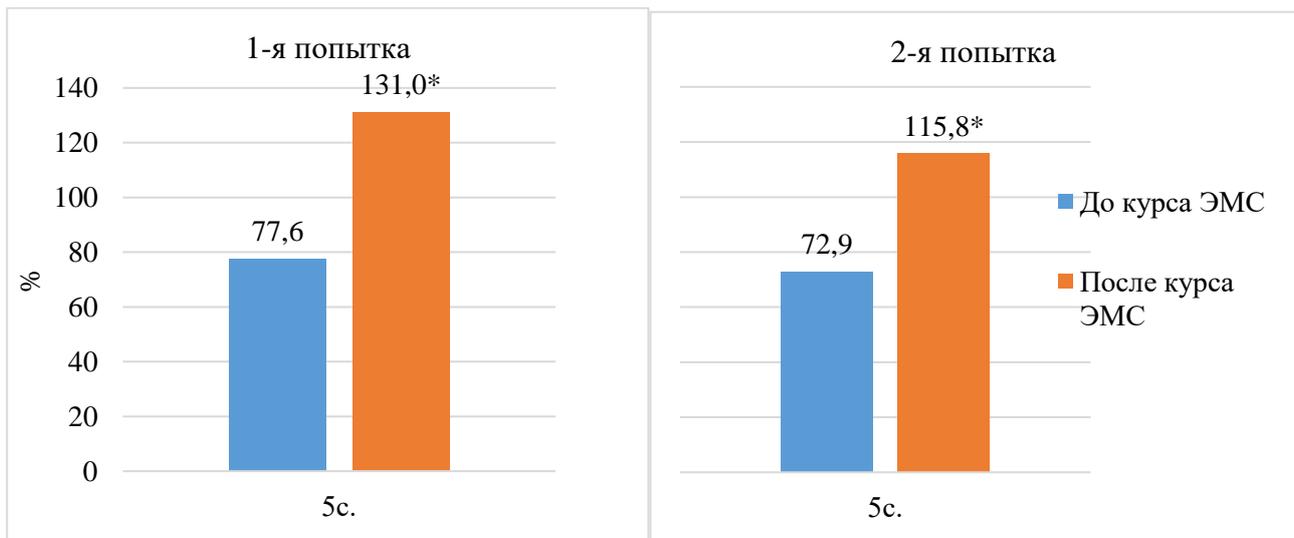


Рис. 4. Динамика амплитуды ЭМГ на наружных межреберных мышцах в 3-й пробе до и после курса ЭМС

Примечание: \* –  $p < 0,05$  между группами

При анализе динамики показателей ЭМГ на диафрагме было выявлено, что после курса ЭМС статистически значимо повышается амплитуда во 2-й и 3-й пробах. По результатам выполнения 2-й пробы прирост амплитуды ЭМГ увеличился на 41,3% от исходного ( $p=0,03$ ), 3-й пробы – на 49,2% от исходного ( $p=0,004$ ) (рис. 7).

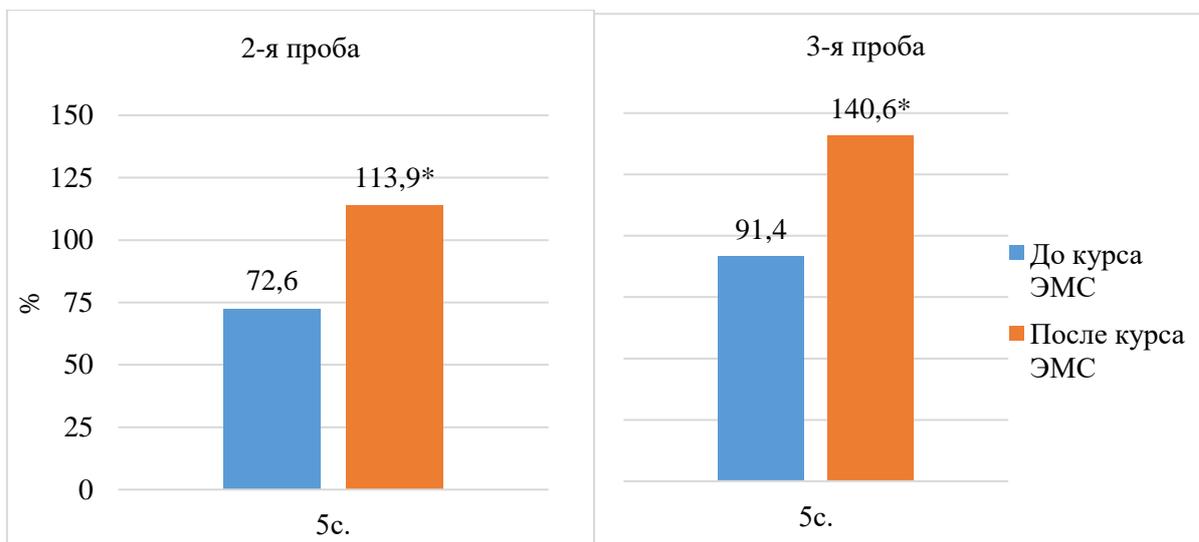


Рис. 5. Динамика амплитуды ЭМГ на диафрагме во 2-й и 3-й пробе до и после курса ЭМС

Примечание: \* –  $p < 0,05$  между группами

На грудино-ключично-сосцевидной мышце статистически значимых изменений амплитуды выявлено не было. При анализе частоты ЭМГ статистически значимых изменений выявлено не было.

При анализе результатов проведения курса ЭМС у пациентов в нашем исследовании было выявлено статистически значимое увеличение силы инспираторных мышц, что сочеталось с увеличением амплитуды ЭМГ наружных межреберных мышц при выполнении всех трех проб с нагрузкой разной мощности и увеличением амплитуды ЭМГ диафрагмы в пробах с нагрузкой мощностью 50% и 70% от максимальной, что свидетельствует об увеличении мышечной работы. Увеличение пройденной дистанции в тесте с 6-минутной ходьбой говорит об улучшении функционального состояния пациентов с ХСНсФВ. Ранее у пациентов с ХСН применялась ЭМС, однако в большинстве исследований – на область нижних конечностей, и была сопоставима по конечным результатам, определяемым по увеличению пикового потребления кислорода, дистанции в тесте с 6-минутной ходьбой, с выполнением произвольных физических упражнений [6]. Однако исходное состояние инспираторных мышц и влияние ЭМС на их состояние у пациентов с ХСНсФВ ранее исследованы не были. В нашем исследовании по данным ЭМГ и определению силы инспираторных мышц ЭМС оказала положительное воздействие на состояние основной инспираторной мышцы – диафрагмы и вспомогательных – наружных межреберных мышц за счет использования электродов большого размера (9\*15 см) и возможности задействовать одновременно несколько мышц. Функциональное состояние грудино-ключично-сосцевидной мышцы по данным ЭМГ после курса ЭМС не отличалось от исходного ввиду отсутствия прямого воздействия электрических импульсов на область ее расположения. Отсутствие значимых различий в частоте ЭМГ в сочетании с ростом амплитуды ЭМГ на диафрагме и на

наружных межреберных мышцах свидетельствует о повышении устойчивости данных мышц к утомлению. Таким образом, это показывает эффективность ЭМС в качестве реабилитационного мероприятия для пациентов со сниженной силой инспираторных мышц с ХСНсФВ начальной и клинически выраженной стадий.

**Выводы.** 1. Электромиостимуляция инспираторных мышц способствует увеличению максимального инспираторного давления и амплитудных характеристик диафрагмы и наружных межреберных мышц у пациентов с ХСНсФВ начальной и клинически выраженной стадий. 2. Электромиостимуляция инспираторных мышц способствует улучшению функционального статуса пациентов с ХСНсФВ начальной и клинически выраженной стадий.

**Заключение.** Применение ЭМС инспираторных мышц в комплексном лечении пациентов с ХСНсФВ способствует улучшению функционального состояния инспираторных мышц и увеличению физической толерантности данной категории пациентов.

### Список литературы

1. Savarese G., Becher P. M., Lund L.H., Seferovic P., Rosano G., Coats A.J. Global burden of heart failure: a comprehensive and updated review of epidemiology // *Cardiovascular research journal*. 2023. Vol. 118. № 17. P. 3272-3287. DOI: 10.1093/cvr/cvac013.
2. 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. Т. 59. № 1. С. 12-21. DOI: 10.18087/cardio.2019.1.2625.
3. Nakagawa N.K., Diz M.A., Kawauchi T.S., de Andrade G.N., Umeda I.I.K., Murakami F.M., Oliveira-Maul J.P., Nascimento J.A., Nunes N., Takada J.Y., Mansur A.P., Cahalin L.P. Risk Factors for Inspiratory Muscle Weakness in Chronic Heart Failure // *Respir Care*. 2020. Vol. 65. № 4. P. 507-516. DOI: 10.4187/respcare.06766.
4. Taylor B.J., Bowen S.T. Respiratory muscle weakness in patients with heart failure: time to make it standard clinical marker and a need for novel therapeutic interventions? // *Journal of cardiac failure*. 2018. V. 24. № 4. P. 217-218. DOI: 10.1016/j.cardfail.2018.02.007.
5. Soska V., Dobsak P., Pohanka M., Spinarova L., Vitovec J., Krejci J., Hude P., Homolka P., Novakova M., Eicher J.-C., Wolf J.-E., Dusek L., Siegelova J. Exercise training combined with electromyostimulation in the rehabilitation of patients with chronic heart failure: A randomized trial // *Biomed. Pap. Med. Fac. Univ. Palacky. Olomouc. Czech. Repub.* 2014. Vol. 158. P. 98–106. DOI: 10.5507/bp.2012.096.

6. Юдаева Ю.А. Коррекция изменений кардиореспираторной системы при сочетании ишемической болезни сердца и хронического обструктивного бронхита с использованием физических методов: дис. ... канд. мед. наук. Оренбург, 2005. 126 с.
7. Ploesteanu R.L., Nechita A.C., Turcu D., Manolescu B.N., Stamate S.C., Berceanu M. Effects of neuromuscular electrical stimulation in patients with heart failure review // *Journal of Medicine and Life*. 2018. Vol. 11. № 2. P. 107-118.
8. Бубнова М.Г., Персиянова-Дуброва А.Л. Применение теста с шестиминутной ходьбой в кардиореабилитации // *Кардиоваскулярная терапия и профилактика*. 2020. № 19 (4). С. 102-111. DOI: 10.15829/1728-8800-2020-2561.
9. Evans J.A., Whitelaw W.A. The assessment of maximal respiratory mouth pressures in adults // *Respir Care*. 2009. V. 54. № 10. P. 1348-1359.
10. Wilson S.H., Cooke N.T., Edwards R.H., Spiro S.G. Predicted normal values for maximal respiratory pressures in caucasian adults and children // *Thorax*. 1984. Vol. 39 (7). P. 535-538. DOI: 10.1136/thx.39.7.535.