



УДК 616.12-089:615.84

DOI 10.17802/2306-1278-2019-8-4S-70-81

ВОЗМОЖНОСТЬ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ЭЛЕКТРОСТИМУЛЯЦИИ СКЕЛЕТНЫХ МЫШЦ В РЕАБИЛИТАЦИИ БОЛЬНЫХ ПОСЛЕ КАРДИОХИРУРГИЧЕСКИХ ОПЕРАЦИЙ

А.Н. Сумин , П.А. Олейник, А.В. Безденежных

Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Научно-исследовательский институт комплексных проблем сердечно-сосудистых заболеваний», Сосновский бульвар, 6, Кемерово, Российская Федерация, 650002

Основные положения

- У больных с осложненным послеоперационным периодом кардиохирургических операций курс ЭМС не вызывал ухудшения клинического состояния.
- После курса ЭМС отмечено улучшение силы мышц нижних конечностей, более выраженное по сравнению с группой контроля.
- Оценка влияния курса ЭМС на клиническое состояние данной категории больных требует последующих исследований.

Цель

Оценить эффективность применения электромиостимуляции (ЭМС) у пациентов с осложненным ранним послеоперационным периодом кардиохирургических операций.

Материалы и методы

В исследование включен 61 пациент (44 мужчин, 17 женщин), от 52 до 70 лет, перенесших оперативное кардиохирургическое вмешательство, с осложненным течением раннего послеоперационного периода, приведшего к увеличению срока нахождения в отделении интенсивной терапии, продления искусственной вентиляции легких. Пациентам выполнялась кистевая и изокинетическая динамометрия нижних конечностей, для оценки исходного состояния мышечного статуса обследуемых пациентов. Тест шестиминутной ходьбы проводился после перевода в отделение кардиохирургии.

Результаты

Исходно пациенты основной группы имели низкий функциональный статус скелетной мускулатуры нижних конечностей, по сравнению с группой контроля практически во всех группах мышц нижних конечностей. После курса ЭМС отмечено более выраженное улучшение мышечного статуса по сравнению с группой контроля: выше была степень прироста силы изометрического сокращения для правого и левого разгибателей колена (38,8% и 40,0% против 8,1% и 8,4%, $p < 0,001$), сгибателей правого коленного сустава (23,7% против 10,1%, $p = 0,008$), левого голеностопного сустава (18,6 против 4,3%, $p = 0,010$), силы сжатия кисти справа (18,3 против 11,1%, $p = 0,042$). Помимо прочего, отмечается близкий к достоверному процент прироста пройденной дистанции, по данным теста шестиминутной ходьбы и составляет 119,72% (293 метра), и 87,13% (315 метров) для основной, и контрольной группы соответственно ($p = 0,079$).

Заключение

У больных с осложненным послеоперационным периодом кардиохирургических операций курс ЭМС не вызывал ухудшения клинического состояния. После курса ЭМС отмечено улучшение силы мышц нижних конечностей, более выраженное по сравнению с группой контроля. Оценка влияния курса ЭМС на клиническое состояние данной категории больных требует последующих исследований. Оценка влияния курса ЭМС на клиническое состояние данной категории больных требует последующих исследований.

Ключевые слова

Кардиохирургические операции • Отделение реанимации и интенсивной терапии • Саркопения • Скелетная мускулатура • Мышечный статус • Реабилитация • Электромиостимуляция

Поступила в редакцию: 06.11.19; поступила после доработки: 30.11.19; принята к печати: 05.12.19

Для корреспонденции: Сумин Алексей Николаевич, e-mail: an_sumin@mail.ru; тел. +7 (3842) 64-44-61; адрес: 650002, Россия, г. Кемерово, Сосновский бульвар, 6

Corresponding author: Sumin Alexey N., e-mail: an_sumin@mail.ru, phone +7 (3842) 64-44-61; address: 650002, Russian Federation, 650002, Kemerovo, 6, Sosnoviy Blvd.

THE POSSIBILITY OF USING SKELETAL MUSCLE ELECTRICAL STIMULATION IN THE REHABILITATION OF PATIENTS AFTER CARDIAC SURGERY

A.N. Sumin ✉, P.A. Oleynik, A.V. Bezdenejnykh

Federal State Budgetary Institution "Research Institute for Complex Issues of Cardiovascular Diseases", 6, Sosonoviy Blvd., Kemerovo, Russian Federation, 650002

Highlights

•

Aim	To evaluate the effectiveness of electrical muscle stimulation (EMS) in patients with the complicated early postoperative period after cardiac surgery.
Methods	61 patients (44 men and 17 women) aged 52-70 years with the complicated early postoperative period after cardiac surgery were included in the study. The complications included prolonged length of stay in the intensive care unit and prolonged mechanical ventilation. The initial muscle performance of the lower extremities was measured with the carpal and isokinetic dynamometer in all patients. The six-minute walk test was performed in all patients after they had been transferred to the department of cardiac surgery.
Results	Patients in the study group had reduced lower extremity muscle strength at baseline, compared with the control group. After the EMS sessions, the study group patients demonstrated pronounced improvements in muscle performance as compared to the control group. Both knee-joint extension values increased during the isometric contraction as compared to those in the control group (38.8% and 40.0% versus 8.1% and 8.4%, $p < 0.001$), similarly to right knee-joint flexion (23.7% versus 10.1%, $p = 0.008$), left ankle joint (18.6 versus 4.3%, $p = 0.010$), right-hand grip strength (18.3 versus 11.1%, $p = 0.042$). In addition, the six-minute walk test results improved in the EMS group (119.72% (293 meters) and 87.13% (315 meters)) as compared to the control group ($p = 0.079$).
Conclusion	The EMS sessions did not affect the clinical status of cardiac surgical patients with the complicated postoperative period. Moreover, it appeared to be beneficial in terms of the improved lower extremity muscle strength that was more pronounced in the study group than in the control group. Therefore, the effects of EMS on the clinical status of these patients require the further investigation.
Keywords	Cardiovascular operations • Intensive care unit • Sarcopenia • Skeletal muscle • Muscle status • Rehabilitation • Electromyostimulation

Received: 06.11.19; received in revised form: 30.11.19; accepted: принята к печати: 05.12.19

Список сокращений

АД – артериального давления	ТШХ – тест шестиминутной ходьбы
ИВЛ – искусственная вентиляция легких	ЧСС – частота сердечных сокращений
ОРИТ – отделение реанимации и интенсивной терапии	ЭМС – электромиостимуляция

Введение

Несмотря на постоянное улучшение результатов открытых операций на сердце существуют объективные обстоятельства (коморбидность, мультифокальный атеросклероз, тяжесть основного заболе-

вания, возраст пациентов), приводящие к развитию периоперационных осложнений [1, 2]. Пациенты с осложненным течением послеоперационного периода кардиохирургического вмешательства зачастую страдают от потери массы мышечной ткани [3–5].

Это состояние развивается, как вследствие продолжительного ограничения подвижности, так и в результате общей направленности катаболических процессов при формировании системного воспалительного ответа, грамотрицательной бактериемии и органной дисфункции и описывается термином «вторичная саркопения». Миодистрофия и послеоперационный протеолиз скелетных мышц, у пациентов, перенесших открытое кардиохирургическое вмешательство, обусловлен активацией продукции провоспалительных цитокинов, таких как ФНО- α , и интерлейкин 6 (IL-6) [4]. Вкупе данные факторы приводят к увеличению сроков госпитализации и высокой смертности [6, 7].

Возможности физической реабилитации для профилактики саркопении в послеоперационном периоде ограничены, в последнее время в дополнение к кинезиотерапии в отделениях реанимации и интенсивной терапии (ОРИТ) стали использовать электромиостимуляцию (ЭМС) [8, 9]. Данная методика успешно зарекомендовала себя у пациентов с наличием хронической сердечной недостаточности [10–12], хронической обструктивной болезнью легких [13], а также у пациентов с хронической почечной недостаточностью проходящих процедуру гемодиализа [14]. Также, методика нейромышечной электростимуляции эффективно применяется у пожилых людей на постоянной основе в качестве профилактики и лечения старческой саркопении [15]. Однако у больных в условиях реанимационных отделений сведения об эффективности ЭМС противоречивы. В части исследований удавалось показать безопасность использования ЭМС в ранние сроки после кардиохирургических операций [16], способность данной методики улучшать метаболизм скелетных мышц у этой категории больных [17]. Однако в других работах добиться существенных клинических результатов не удавалось. Такие различия показывают необходимость продолжения исследований в данной области. Соответственно, целью настоящего исследования было оценить эффективность применения электромиостимуляции у пациентов с осложненным ранним послеоперационным периодом кардиохирургических операций.

Материал и методы

Объектом данного исследования являлись пациенты кардиохирургического стационара НИИ КПССЗ, госпитализированные в период с марта 2017 по июнь 2019 г. В исследование включен 61 пациент (44 мужчин, 17 женщин), от 52 до 70 лет, перенесших оперативное кардиохирургическое вмешательство, с осложненным течением раннего послеоперационного периода, приведшего к увеличению срока нахождения в отделении интенсивной терапии, продления искусственной вентиляции легких (ИВЛ). Критериями включения в исследо-

вание были кардиохирургическое вмешательство с искусственным кровообращением и осложненный послеоперационный период с прогнозируемым пребыванием в отделении анестезиологии-реанимации более 48 часов. Критерии исключения: нарушение целостности кожи в местах наложения электродов; умирающий пациент; нервно-мышечные расстройства; психические заболевания и выраженный когнитивный дефицит; продолжающееся кровотечение.

Всеми пациентам, начиная с третьих суток пребывания в отделении реанимации и интенсивной терапии, при первой возможности выполнялась кистевая и изокинетическая динамометрия мышц нижних конечностей, для оценки исходного состояния мышечного статуса обследуемых пациентов и определения критериев разделения на группы. Тест шестиминутной ходьбы (ТШХ) проводился сразу после перевода в отделение кардиохирургии (в среднем на 5–10 день после выполнения оперативного вмешательства).

Выделенные группы были сопоставлены по ключевым демографическим, антропометрическим показателям, анамнестическим данным, наличию факторов риска периферического атеросклероза, коморбидной патологии, распространенности атеротромботических событий в анамнезе, сопутствующей патологии, данным рутинных лабораторных и инструментальных обследований.

Количество пациентов основной группы, подвергавшихся электростимуляции нижних конечностей, составило 32 человека (22 мужчин, 10 женщин), группы контроля, проходивших стандартную программу реабилитации и восстановительного лечения – 29 человек (22 мужчин, 7 женщин). Распределение больных в основную и контрольную группу происходило случайным образом. Оценка динамики мышечного статуса и ТШХ проводилась на 12–14 день после исходной оценки, либо накануне выписки из кардиохирургического стационара.

Статико-динамические тесты. Динамометрию мышц нижних конечностей проводили с помощью ручного изокинетического динамометра «Lafayette MMT 01165» (USA) с возможностью оценки полученных результатов непосредственно на экране прибора. После разминки и разогрева мышц, попарно выполнялись четыре упражнения на различные группы мышц:

1. Четырехглавая мышца бедра (*M. quadriceps femoris*);
2. Группа мышц сгибателей коленного сустава (Двухглавая – *M. biceps femoris*; Полусухожильная – *M. semitendinosus*; Полуперепончатая – *M. semimembranosus*; Портняжная – *M. sartorius*; Тонкая мышца – *M. gracilis*);
3. Группа мышц сгибателей голеностопного сустава (Икроножная – *M. gastrocnemius*; Камбаловидная – *M. soleus*; Подошвенная – *M. plantaris*);

Задняя большеберцовая – *M. tibialis posterior*; Длинный сгибатель большого пальца – *M. flexor hallucis longus*; Длинный сгибатель пальцев – *M. flexor digitorum longus*);

4. Группа мышц разгибателей голеностопного сустава (Передняя большеберцовая мышца – *M. tibialis anterior*; Длинный разгибатель большого пальца стопы – *M. extensor hallucis longus*; Длинный разгибатель пальцев – *M. extensor digitorum longus*).

Кистевая динамометрия проводилась с помощью динамометра «ДК-100» (РФ), последовательно после разогрева мышц верхних конечностей проводились парные замеры сгибателей пальцев правой и левой верхней конечности. Тест шестиминутной ходьбы проводился в закрытом помещении (коридор с проведенной заранее разметкой, с ровным полом, без наклона в горизонтальной плоскости) с предварительной и заключительной оценкой частоты сердечных сокращений (ЧСС) и артериального давления (АД), измерением пройденной дистанции.

Инструментальные методы обследования включали проведение на до и послеоперационном этапе электрокардиографии, эхокардиографии, цветного дуплексного сканирования брахиоцефальных артерий и артерий нижних конечностей. Лабораторные методы включали рутинную оценку показателей в пробе крови, взятой натощак: уровень глюкозы, креатинина, расчет скорости клубочковой фильтрации по формуле СКД-EPI.

Методика проведения электромиостимуляции. Курс электромиостимуляции проводился с помощью четырехканального аппарата «Beurer EM80» (Германия). Самоклеящиеся электроды располагались над точками прикрепления четырехглавой мышцы бедра. Длительность каждой сессии составляла не менее 90 минут, включая 5-минутные периоды разогрева и разминки. На протяжении сессии модулировались прямоугольные импульсы с частотой 45 Гц. В результате электроимпульсного воздействия индуцировалось тоническое сокращение *M. quadriceps femoris* на протяжении 12 секунд с последующей паузой в 5 секунд. Амплитуда электрического импульса подбиралась отдельно для каждого из четырех каналов стимулятора, до достижения хорошего мышечного сокращения (визуально или пальпаторно) учитывая индивидуальные особенности и уровень болевого порога каждого пациента.

Электростимуляция выполнялась на следующий день после проведения динамометрии в отделении интенсивной терапии и реанимации. Продолжительность проведения курса ЭМС составляла не менее 7 сеансов (в среднем 12–14), ежедневно, вплоть до дня выписки, в течение всего периода пребывания пациента в стационаре на послеоперационном этапе.

Статистическая обработка полученных данных проводилась с помощью пакета прикладных про-

грамм «STATISTICA 10.0». С помощью критерия Шапиро-Уилка проверялась нормальность распределения, но поскольку распределение для всех количественных признаков отличалось от нормального, они представлены в виде медиан и квартилей. Для оценки внутригрупповых различий и динамики показателей мышечного статуса применялся критерий Вилкоксона, для межгрупповых различий критерий Манна-Уитни. для парных сравнений. Номинальные и бинарные признаки сравнивались по критерию χ^2 (хи-квадрат) с поправкой Йетса для малых выборок.

Протокол исследования был одобрен локальным этическим комитетом. Все пациенты ознакомлены с проектной документацией, дали информированное согласие на участие в исследовании. Работа выполнена в рамках поискового научного исследования 2017/2019-419-2.

Результаты

Представленные группы не имели различий в гендерно-возрастных характеристиках: в обеих группах преобладали мужчины (68,75% и 75,86%, $p = 0,536$), средний возраст исследуемых составил 62 и 63 года ($p = 0,795$), индекс массы тела 28,03 и 27,96 соответственно ($p = 0,384$). Сопоставляемые группы не имели значимых различий по продолжительности артериальной гипертензии, распространенности ишемической болезни сердца, функционального класса стенокардии, наличию и количеству перенесенных инфарктов миокарда в анамнезе, частоте проведенного чрескожного вмешательства, высоко функциональном классе хронической сердечной недостаточности и наличию постоянной/длительно персистирующей формы фибрилляций предсердий. Также, не было выявлено достоверных различий в частоте заболеваний нарушения углеводного обмена, бронхо-пульмональной патологии, заболеваний органов системы пищеварения и распространенности периферического атеросклероза.

По результатам проведенных лабораторных исследований, группы были сопоставимы по основным клиническим и биохимическим показателям. (Табл. 1, 2).

Изучаемые группы не отличались по типам кардиохирургических вмешательств: абсолютное большинство пациентов перенесло изолированное коронарное шунтирование, либо в сочетании с клапанной коррекцией. Многоклапанные вмешательства, ортотопические трансплантации сердца, а также острые состояния, связанные с диссекцией аорты, составили в сумме менее 15% наблюдаемых случаев (Табл. 3).

В структуре послеоперационных осложнений преобладали проявления сердечной и дыхательной недостаточности, острой почечной недостаточности,

пароксизмальные нарушения ритма и др. (Табл. 4). Пациенты, включенные в основную группу достоверно чаще страдали от проявлений дыхательной недостаточности ($p = 0,047$), нуждались в продлен-

ной ИВЛ, плевроцентезе ($p = 0,007$). У них чаще развивался системный воспалительный ответ ($p = 0,091$) и в отличие от группы контроля требовалась дополнительная кардиотоническая поддержка

Таблица 1. Клинико-anamnestические данные
Table 1. Clinical and anamnestic data

Показатель / Figure	Группа ЭМС / EMS Group (n = 32)	Группа контроля / Control group (n = 29)	P-level
Мужчины / Men (n,%)	22 (68,75%)	22 (75,86%)	0,536
Возраст (лет) / Age (years)	62,0 [56,0;69,5]	63,0 [60,0;68,0]	0,795
Рост (см) / Height (sm)	169,5 [161,0;175,5]	171,5 [164,0;176,0]	0,431
Вес (кг) / Weight (kg)	62,0 [59,0;68,0]	60,0 [57,5;67,0]	0,735
ИМТ (кг/м ²) / BMI (kg/m ²)	28,03 [24,45;31,94]	27,96 [25,01;31,40]	0,384
СКФ (мл/мин/1,73 м ²) / GFR (ml/min/1.73 m ²)	80,53 [70,32;90,53]	83,67 [73,21;92,26]	0,582
Функциональный класс ХСН ≥ 3 / NYHA class ≥ 3 (n,%)	23 (71,88%)	20 (68,97%)	0,804
ИМ / MI history (n,%)	14 (43,75%)	14 (48,28%)	0,723
АГ / Hypertension (n,%)	28 (87,5%)	27 (93,10%)	0,638
Длительность АГ ≥ 5 лет / Duration of HBP ≥ 5 years (n,%)	17 (53,13%)	16 (55,17%)	0,915
ЧКВ в анамнезе / PCI history (n,%)	6 (18,75%)	8 (27,59%)	0,413
ОНМК / Stroke history (n,%)	6 (18,75%)	2 (6,90%)	0,171
КЭЭ / CEA history (n,%)	3 (9,38%)	0 (0,0%)	0,091
Постоянная форма ФП / Permanent AF (n,%)	5 (15,63%)	2 (6,90%)	0,286
Сахарный диабет / Diabetes history (n,%)	6 (18,75%)	4 (13,79%)	0,688
ХОБЛ / COPD history (n,%)	12 (37,5%)	8 (27,59%)	0,410
ХИНК в анамнезе/ CLI history (n,%)	7 (21,88%)	2 (6,90%)	0,099
ХИНК $\geq 2A$ / CLI $\geq 2A$ history (n,%)	4 (12,5%)	1 (3,45%)	0,858

Примечания: все числовые характеристики представлены в виде медианы и квартилей; АГ – артериальная гипертензия; ИМ – инфаркт миокарда; ИМТ – индекс массы тела; КЭЭ – каротидная эндартерэктомия; ОНМК – Острое нарушение мозгового кровообращения; СКФ – скорость клубочковой фильтрации; ФП – фибрилляция предсердий; ХИНК – хроническая ишемия нижних конечностей; ХОБЛ – хроническая обструктивная болезнь легких; ХСН – хроническая сердечная недостаточность; ЧКВ – чрескожное коронарное вмешательство; ЭМС – электромиостимуляция.

Note: all characters are presented as median and quartiles; AF – atrial fibrillation; BMI – body mass index; CEA – carotid endarterectomy; CLI – chronic limb ischemia; COPD – chronic obstructive pulmonary disease; EMS – electromyostimulation; GFR – glomerular filtration rate; HBP – high blood pressure; MI – myocardial infarction; NYHA – New York Heart Association; PCI – percutaneous coronary intervention.

Таблица 2. Характеристика видов оперативного вмешательства
Table 2. Surgical interventions

Показатель / Figure	Группа ЭМС / EMS Group (n = 32)	Группа контроля / Control group (n = 29)	P-level
Коронарное шунтирование / CABG (n,%)	9 (28,13%)	12 (41,37%)	0,277
Протезирование Аортального клапана / Aortic valve replacement (n,%)	3 (9,38%)	3 (10,34%)	0,560
Протезирование Митрального клапана / Mitral valve replacement (n,%)	4 (12,5%)	2 (6,90%)	0,198
Сочетанное коронарное шунтирование и протезирование клапанов / Combined CABG and valve replacement (n,%)	5 (15,63%)	5 (17,24%)	0,865
Многоклапанные операции / Multivalve operations (n,%)	2 (6,25%)	2 (6,90%)	0,919
Протезирование Аортального клапана и вмешательство на восходящем отделе Аорты / Aortic valve replacement and intervention on the ААо (n,%)	4 (12,5%)	3 (10,34%)	0,792
Диссекция Аорты / Aortic dissection (n,%)	2 (6,25%)	1 (3,45%)	0,171
Трансплантация сердца / Heart transplantation (n,%)	3 (9,38%)	1 (3,45%)	0,350
Искусственное кровообращение / CPB (n,%)	29 (90,63%)	26 (89,67%)	0,513
Длительность Искусственного Кровообращения (мин) / Cardiopulmonary Bypass Duration (min)	141,0 [98,0;180,0]	130,5 [73,0;173,0]	0,185

Примечания: все числовые характеристики представлены в виде медианы и квартилей; ЭМС – электромиостимуляция.

Note: all characters are presented as median and quartiles; ААо – ascending aorta; CABG – coronary artery bypass graft; CPB – cardiopulmonary bypass; EMS – electromyostimulation.

в виде инфузии левосимендана ($p = 0,091$).

Исходно исследуемые группы имели достоверно значимые различия в показателях мышечного статуса: пациенты основной группы имели низкий функциональный статус скелетной мускулатуры нижних конечностей, по сравнению с группой контроля практически во всех группах мышц нижних конечностей (за исключением мышц, сгибателей левого коленного сустава $p = 0,146$).

Также, пациенты основной группы в основной

массе не смогли преодолеть порог пройденной дистанции ТШХ в 150 метров, в то время, как пациенты контрольной группы в среднем могли пройти 184 метра ($p = 0,033$). Помимо прочего, по результатам кистевой динамометрии в/конечностей, пациенты основной группы, по сравнению с группой контроля имели значимо меньшие показатели силы сжатия кисти, в большей степени выраженные для правой в/конечности ($p = 0,027$ и $0,063$ соответственно), что является интегральным отражением

Таблица 3. Характеристика послеоперационных осложнений
Table 3. Types of postoperative complications

Показатель / Figure	Группа ЭМС / EMS Group (n = 32)	Группа контроля / Control group (n = 29)	P-level
Инфаркт миокарда / MI (n,%)	1 (3,13%)	1 (3,45%)	0,944
СН / HF (n,%)	9 (28,13%)	8 (27,59%)	0,963
Пароксизм ФП / Paroxysm of AF (n,%)	11 (34,38%)	10 (34,48%)	0,404
Осложнения стеральной раны / Sternal wound complication (n,%)	5 (15,63%)	3 (10,34%)	0,738
ПОН / MSOF (n,%)	11 (34,38%)	5 (17,24%)	0,129
СВВО / SIRS (n,%)	3 (9,38%)	0 (0,0%)	0,091
ДН/ RF (n,%)	10 (31,25%)	3 (10,34%)	0,047
Перикардиоцентез / Pericardiocentesis (n,%)	3 (9,38%)	1 (3,45%)	0,350
Плевроцентез / Pleurocentesis (n,%)	6 (18,75%)	0 (0,0%)	0,007
ОПН / ARF (n,%)	5 (15,63%)	4 (13,79%)	0,865
ОНМК / Stroke (n,%)	0 (0,0%)	1 (3,45%)	0,290
ЧКВ в послеоперационном периоде / postoperative PCI (n,%)	1 (3,13%)	0 (0,0%)	0,337

Примечания: все числовые характеристики представлены в виде медианы и квартилей; ДН – дыхательная недостаточность; ОНМК – острое нарушение мозгового кровообращения; ОПН – острая почечная недостаточность; ПОН – полиорганная недостаточность; СВВО – синдром системного воспалительного ответа; СН – сердечная недостаточность; ФП – фибрилляция предсердий; ЧКВ – чрескожное коронарное вмешательство; ЭМС – электромиостимуляция.

Note: all characters are presented as median and quartiles; AF – atrial fibrillation; ARF – acute renal failure; EMS – electromyostimulation; HF – heart failure; MI – myocardial infarction; MSOF – multisystem organ failure; PCI – percutaneous coronary intervention; RF – respiratory failure; SIRS – systemic inflammatory response syndrome.

Таблица 4. Исходные показатели силы мышц нижних и верхних конечностей
Table 4. Baseline muscle strength of the lower and upper extremities

Показатель / Figure	Группа ЭМС / EMS Group (n = 32)	Группа контроля / Control group (n = 29)	P-level
Правый квадрицепс (кг) / Right quadriceps strength (kg)	17,6 [13,5;21,3]	21,8 [18,6;25,7]	0,023
Левый квадрицепс (кг) / Left quadriceps strength (kg)	15,5 [12,3;20,3]	21,2 [17,5;26,0]	0,003
Сгибатели правого коленного сустава (кг) / Right knee-joint flexors (kg)	13,1 [10,3;17,4]	15,5 [13,9;19,5]	0,042
Сгибатели левого коленного сустава (кг) / Left knee-joint flexors (kg)	13,6 [10,3;16,2]	15,7 [11,4;21,7]	0,146
Разгибатели правого голеностопного сустава (кг) / Extensors of the right ankle joint (kg)	20,9 [17,1;24,9]	28,4 [24,8;34,1]	<0,001
Сгибатели правого голеностопного сустава (кг) / Right ankle joint flexors (kg)	13,6 [11,6;19,7]	18,0 [15,4;20,1]	0,025
Разгибатели левого голеностопного сустава (кг) / Extensors of the left ankle joint (kg)	21,1 [16,3;26,0]	26,3 [23,5;35,6]	0,001
Сгибатели левого голеностопного сустава (кг) / Left ankle joint flexors (kg)	13,5 [11,1;18,9]	17,6 [15,6;21,3]	0,004
ТШХ (метры) / Distance of 6MWT (meters)	118,0 [99,0;181,0]	184,0 [116,0;225,0]	0,033
Сила сжатия правой кисти (кг) / strength of the flexors of the right hand (kg)	22,0 [15,0;30,0]	28,0 [20,0;34,0]	0,027
Сила сжатия левой кисти (кг) / strength of the flexors of the left hand (kg)	18,0 [13,0;25,0]	26,0 [14,0;30,0]	0,063

Примечания: все числовые характеристики представлены в виде медианы и квартилей; ТШХ – тест шестиминутной ходьбы; ЭМС – электромиостимуляция.

Note: all characters are presented as median and quartiles; EMS – electromyostimulation; SMWT – six minute walk test.

общего состояния функционального статуса скелетной мускулатуры (Табл. 5).

В целом, пациенты группы контроля до начала курса электромиостимуляции, представляются, как более физически тренированные, в перспективе имеющие больше шансов на раннюю вертикализацию, более раннее и успешное прохождение программы послеоперационной реабилитации.

После проведения курса электромиостимуляции,

при повторной оценке в динамике, показатели мышечного статуса основной группы смогли достигнуть и во многих случаях превысить показатели уровня силы контрольной группы, что подтверждается отсутствием различий номинальных показателей силы квадрицепса между группами и составило 24,1 и 23,8 кг/см² для правой и левой н/конечности соответственно ($p = 0,444$ и $p = 0,789$, Табл. 6).

Стоит отметить, что достоверно значимый прирост

Таблица 5. Показатели силы мышц нижних и верхних конечностей после курса ЭМС
Table 5. Muscle strength indicators of the lower and upper extremities after a course of EMS

Показатель / Figure	Группа ЭМС / EMS Group (n = 32)	Группа контроля / Control group (n = 29)	P-level
Правый квадрицепс (кг) / Right quadriceps strength (kg)	24,1 [21,5;30,35]	23,8 [20,1;27,7]	0,444
Левый квадрицепс (кг) / Left quadriceps strength (kg)	23,8 [18,6;28,65]	23,5 [20,1;27,9]	0,789
Сгибатели правого коленного сустава (кг) / Right knee-joint flexors (kg)	17,2 [13,55;22,85]	19,5 [13,3;25,7]	0,414
Сгибатели левого коленного сустава (кг) / Left knee-joint flexors (kg)	17,1 [14,0;22,1]	18,1 [15,1;27,7]	0,276
Разгибатели правого голеностопного сустава (кг) / Extensors of the right ankle joint (kg)	25,3 [23,35;32,3]	32,3 [25,9;36,9]	0,012
Сгибатели правого голеностопного сустава (кг) / Right ankle joint flexors (kg)	16,4 [13,6;22,4]	19,2 [17,3;22,0]	0,055
Разгибатели левого голеностопного сустава (кг) / Extensors of the left ankle joint (kg)	23,75 [18,9;32,5]	30,8 [27,0;35,1]	0,010
Сгибатели левого голеностопного сустава (кг) / Left ankle joint flexors (kg)	15,2 [13,55;22,55]	18,9 [17,0;22,6]	0,048
ТШХ (метры) / Distance of 6MWT (meters)	293,0 [241,5;328,5]	315,0 [277,0;371,0]	0,111
Сила сжатия правой кисти (кг) / strength of the flexors of the right hand (kg)	28,0 [18,5;33,5]	32,0 [22,0;35,0]	0,102
Сила сжатия левой кисти (кг) / strength of the flexors of the left hand (kg)	21,0 [15,5;29,0]	28,0 [18,0;31,0]	0,110

Примечания: все числовые характеристики представлены в виде медианы и квартилей; ТШХ – тест шестиминутной ходьбы; ЭМС – электромиостимуляция.

Note: all characters are presented as median and quartiles; EMS – electromyostimulation; SMWT – six minute walk test.

Таблица 6. Процент прироста силы мышц
Table 6. Percent muscle strength gain

Показатель / Figure	Группа ЭМС / EMS Group (n = 32)	Группа контроля / Control group (n = 29)	P-level
Правый квадрицепс (кг) / Right quadriceps strength (kg)	38,83 [27,40;57,20]	8,06 [4,90;14,66]	<0,001
Левый квадрицепс (кг) / Left quadriceps strength (kg)	39,86 [28,94;57,31]	8,37 [4,33;14,60]	<0,001
Сгибатели правого коленного сустава (кг) / Right knee-joint flexors (kg)	23,73 [15,17;50,62]	10,05 [4,50;19,50]	0,008
Сгибатели левого коленного сустава (кг) / Left knee-joint flexors (kg)	25,40 [10,44;45,38]	12,57 [7,42;21,64]	0,065
Разгибатели правого голеностопного сустава (кг) / Extensors of the right ankle joint (kg)	19,46 [8,12;30,93]	11,89 [6,43;19,20]	0,070
Сгибатели правого голеностопного сустава (кг) / Right ankle joint flexors (kg)	11,55 [3,41;30,86]	7,14 [3,78;12,68]	0,578
Разгибатели левого голеностопного сустава (кг) / Extensors of the left ankle joint (kg)	22,02 [6,60;32,29]	9,06 [3,26;18,53]	0,061
Сгибатели левого голеностопного сустава (кг) / Left ankle joint flexors (kg)	18,64 [3,58;30,38]	4,31 [-2,50;12,68]	0,010
ТШХ (метры) / Distance of 6MWT (meters)	119,72 [87,51;168,07]	87,13 [37,96;131,86]	0,079
Сила сжатия правой кисти (кг) / strength of the flexors of the right hand (kg)	18,33 [6,11;31,67]	11,11 [5,88;20,83]	0,042
Сила сжатия левой кисти (кг) / strength of the flexors of the left hand (kg)	15,08 [8,83;30,90]	10,07 [5,74;17,65]	0,168

Примечания: все числовые характеристики представлены в виде медианы и квартилей; ТШХ – тест шестиминутной ходьбы; ЭМС – электромиостимуляция.

Note: all characters are presented as median and quartiles; EMS – electromyostimulation; SMWT – six minute walk test.

мышечной силы наблюдался не только в группе мышц, подвергавшихся электроимпульсному воздействию (*M.quadriceps femoris*), но и у мышц антагонистов – сгибателей коленного сустава (*M.biceps femoris*; *M.semitendinosus*; *M.semimembranosus*; *M.sartorius*; *M.gracilis*) (Табл. 6). Что обусловлено гипертонусом стимулированных мышц, что в свою очередь привело к пассивному растяжению мышечного апоневроза сгибателей, и активации тонического рефлекса на растяжение (активация сегментарной дуги проприоцептивного рефлекса). Номинальная сила сгибателей составила для правой нижней конечности 17,2 кг в группе ЭМС и 19,5 кг в контроле ($p = 0,414$), для левой – 17,1 кг и 18,1 кг, соответственно ($p = 0,276$).

Процент прироста мышечной силы квадрицепса и мышц сгибателей коленного сустава в группе ЭМС составил 38,83% и 23,73% ($p < 0,001$, $p = 0,008$) для правой н/конечности, 39,86% и 25,40% для левой н/конечности соответственно ($p < 0,001$, $p = 0,065$). В то время, как аналогичные мышцы в группе контроля показали куда менее значимый процент прироста мышечной силы (8,06 и 10,5%; 8,37 и 12,57%, Табл. 7).

Помимо прочего, отмечается близкий к достоверному процент прироста пройденной дистанции, по данным теста шестиминутной ходьбы и составляет 119,72% (293 метра), и 87,13% (315 метров) для основной, и контрольной группы соответственно ($p = 0,079$).

Группы мышц сгибателей и разгибателей голеностопного сустава имели не значимый процент прироста мышечной силы и по номинальным показателям при обследовании в динамике имели достоверно меньшие номинальные показатели мышечной силы ($p = 0,012$; $0,055$ и $p = 0,010$; $0,048$ для правой и левой конечности соответственно).

Сила кистевого хвата у большинства пациентов достигла значений контрольной группы, медиана составила 28 кг для правой верхней конечности ($p = 0,102$) и 21 кг для левой в/конечности ($p = 0,110$). Достоверные различия в проценте прироста мышечной силы наблюдались для правой в/конечности и составил 18,33% ($p = 0,042$) (Табл. 7).

Обсуждение

В настоящем исследовании удалось показать возможность с помощью ЭМС дополнительно улучшить силу стимулированных мышц при отсутствии неблагоприятного влияния на общеклиническое состояние кардиохирургических больных с осложненным течением послеоперационного периода.

Действительно, у больных в критическом состоянии при проведении курса ЭМС не выявлено неблагоприятных влияний в систематическом обзоре при целенаправленном изучении опубликованных работ [18]. Например, Rodriguez P.O. и соавт. [19] отмеча-

ли видимые сокращения стимулировавшихся мышц в 77% сеансов ЭМС (665 из 864), при этом пациенты испытывали болевые ощущения только в двух случаях, один пациент имел поверхностный ожог вследствие некорректной методики проведения сеанса ЭМС. В исследовании Abu-Khabeb H.A. и соавт. [20] 15% участников описывали субъективное ощущение покалывания, которое, тем не менее, не было клинически значимым и не приводило к прекращению ЭМС. При оценке гемодинамических реакций в ответ на проведение ЭМС, как правило, не выявляется их существенной динамики. Так, у больных на ИВЛ не было изменений ЧСС, сердечного выброса, систолической функции правого желудочка и давления в легочной артерии в ходе сеанса ЭМС [21]. У больных с сепсисом в отделении интенсивной терапии [22] сеанс ЭМС приводил к статистически значимому повышению ЧСС (с 89 ± 20 до 92 ± 19 уд/мин, $p = 0,04$) и частоты дыхания (с 21 ± 6 до 22 ± 6 в минуту, $p = 0,03$). Тем не менее, абсолютное увеличение этих параметров было небольшим, а среднее АД не менялось (89 ± 11 и 92 ± 17 мм рт.ст., $p = 0,19$). В исследовании Iwatsu K. и соавт. [16] проведение ЭМС после кардиохирургических операций не сопровождалось гемодинамически значимыми осложнениями, такими как изменение систолического АД, формирование устойчивой желудочковой аритмии, фибрилляции желудочков, фибрилляции и трепетания предсердий, или сбоя работы кардиостимулятора. В нашей когорте больных гемодинамическая и клиническая безопасность сеансов ЭМС также подтверждена.

В проведенных ранее исследованиях чаще всего проводили стимуляцию мышц нижних конечностей (прежде всего четырехглавой). В целом ряде работ удалось показать возрастание силы стимулированных мышц после курса ЭМС у пациентов в критических состояниях [17, 19, 23, 24], что могло сопровождаться улучшением функционального состояния на момент перевода из ОРИТ, предотвращению саркопении, снижению длительности ИВЛ, пребывания в ОРИТ, длительности госпитализации [23, 24]. Однако в ряде других работ не удалось показать влияния ЭМС на функциональное состояние скелетных мышц у данной категории больных [20, 25, 26]. При изучении ЭМС у кардиохирургических больных Fischer A. и соавт. [27] отметили более быстрое восстановление силы мышц в группе ЭМС по сравнению с контролем, но отсутствие влияния на толщину мышечного слоя по данным ультразвукового исследования. В другом исследовании на 7-й день после операции в группе ЭМС отмечены по сравнению с контролем более высокие значения изометрической силы разгибателей колена (0,40 кг/вес против 0,23 кг/вес; $p < 0,01$) и силы сжатия кисти (32 кг против 24 кг; $p < 0,01$) [17], что сопоставимо с нашими данными. Можно отметить, что эффект ЭМС в послеоперационном периоде может сильно

зависеть от когорты включенных в исследование больных. Меньше отдачи можно ждать от ЭМС у больных с неосложненным послеоперационным периодом, ограниченным временем пребывания в ОРИТ. И наоборот, более явным эффект ЭМС будет у больных с активацией катаболических процессов вследствие развития синдрома низкого сердечного выброса, повреждения внутренних органов или пролонгированной ИВЛ. Поэтому встает вопрос о проведении хорошо продуманных рандомизированных исследований по изучению влияния ЭМС на мышечный статус и клиническое состояние в специфической когорте больных, которым проводятся кардиохирургические операции высокого риска [28].

Ограничения исследования: несмотря на случайный характер распределения и сопоставимость по основным клинико-инструментальным параметрам, группы не были сопоставимы по уровню исходного мышечного статуса, пациенты группы ЭМС исходно были слабее. Поскольку именно у наиболее ослабленных больных эффект от тренировок обычно более заметен, то это могло повлиять на результаты исследования. Однако сам факт, что курс ЭМС позволил ослабленным больным догнать более сильных больных из группы контроля по мышечному статусу, заслуживает внимания клиницистов, поэтому мы сочли возможным представить наши данные. Другим ограничением исследования является проведение оценки только функции мышц, но не их структуры, что обычно используется при саркопении (например, ультразвуковое исследование скелетных мышц [29]). Также в настоящей работе изучением эффективности ЭМС ограничивалось только оценкой состояния скелетных мышц и общего функционального состояния, без рассмотрения других клинических данных (например, длительности пребывания в отделениях клиники). Конечно, в большинстве проведенных исследованиях прирост мышечной силы после курса ЭМС у критических больных сопровождался и положительными клиническими результатами, поэтому можно рассчитывать

на него и в нашем случае, однако это требует подтверждения в дальнейшем анализе и исследованиях. Следует отметить, что несмотря на рандомизацию, не удалось достигнуть сопоставимости групп по ряду параметров, поэтому в данном дизайне исследование призвано оценить безопасность методики и получить первые результаты по эффективности. Для большей доказательности результатов необходимо проведение анализа при подборе групп по принципу копи-пара, что планируется провести в дальнейшем. Несмотря на ограничения в дизайне исследования, однако, с учетом достоверной разницы прироста мышечной силы предположение об эффективности ЭМС является обоснованным.

Заключение

Проведение курса ЭМС у больных с осложненным послеоперационным периодом после кардиохирургических операций не вызывало неблагоприятных гемодинамических реакций и ухудшения клинического состояния. После курса ЭМС отмечено более выраженное улучшение мышечного статуса по сравнению с группой контроля: выше была степень прироста силы изометрического сокращения для правого и левого разгибателей колена (38,8% и 40,0% против 8,1% и 8,4%), сгибателей правого коленного сустава (23,7% против 10,1%), левого голеностопного сустава (18,6 против 4,3%), силы сжатия кисти справа (18,3 против 11,1%). Оценка влияния курса ЭМС на клиническое состояние данной категории больных требует последующих исследований.

Конфликт интересов

А.Н. Сумин входит в редакционную коллегию журнала КПССЗ. П.А. Олейник заявляет об отсутствии конфликта интересов. А.В. Безденежных заявляет об отсутствии конфликта интересов.

Финансирование

Авторы заявляют об отсутствии финансирования исследования.

Информация об авторах

Сумин Алексей Николаевич, доктор медицинских наук, заведующий отделом мультифокального атеросклероза Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Научно-исследовательский институт комплексных проблем сердечно-сосудистых заболеваний», Кемерово, Российская Федерация; **ORCID** 0000-0002-0963-4793

Олейник Павел Александрович, аспирант, врач-кардиолог Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Научно-исследовательский институт комплексных проблем сердечно-сосудистых заболеваний», Кемерово, Российская Федерация; **ORCID** 0000-0002-8196-5570

Безденежных Андрей Викторович, кандидат медицинских наук, старший научный сотрудник Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Научно-исследовательский институт комплексных проблем сердечно-сосудистых заболеваний», Кемерово, Российская Федерация.

Author Information Form

Sumin Alexei N., M.D., Ph.D., the Head of the Department for Polyvascular and Multivessel Disease, Federal State Budgetary Institution "Research Institute for Complex Issues of Cardiovascular Diseases", Kemerovo, Russian Federation; **ORCID** 0000-0002-0963-4793

Вклад авторов в статью

САН – вклад в концепцию и дизайн исследования, написание статьи, утверждение окончательной версии для публикации, полная ответственность за содержание;

ОПА – интерпретация данных исследования, корректировка статьи, утверждение окончательной версии для публикации, полная ответственность за содержание;

БАВ – получение, анализ и интерпретация данных исследования, написание статьи, корректировка статьи, утверждение окончательной версии для публикации, полная ответственность за содержание.

Author Contribution Statement

SAN – contribution to the concept and design of the study, manuscript writing, approval of the final version, fully responsible for the content;

OPA – data interpretation, editing, approval of the final version, fully responsible for the content;

BAV – data collection, analysis and interpretation, manuscript writing, editing, approval of the final version, fully responsible for the content.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Барбараш Л.С., Сумин А.Н., Безденежных А.В., Жучкова Е.А., Барбараш О.Л. Распространенность мультифокального атеросклероза у больных ишемической болезнью сердца. Комплексные проблемы сердечно-сосудистых заболеваний. 2013; 3: 4-11. doi.org/10.17802/2306-1278-2013-3-4-11
2. Барбараш О.Л., Жидкова И.И., Шибанова И.А., Иванов С.В., Сумин А.Н., Самородская И.В., Барбараш Л.С. Влияние коморбидной патологии и возраста на госпитальные исходы пациентов, подвергшихся коронарному шунтированию. Кардиоваскулярная терапия и профилактика. 2019; 18 (2): 58-64. doi.org/10.15829/1728-8800-2019-2-58-64
3. van Venrooij L.M., Verberne H.J., de Vos R., Borgmeijer-Hoelen M.M., van Leeuwen P.A., de Mol B.A. Postoperative loss of skeletal muscle mass, complications and quality of life in patients undergoing cardiac surgery. Nutrition. 2012; 28 (1): 40-5. doi: 10.1016/j.nut.2011.02.007.
4. Iida Y., Yamazaki T., Kawabe T., Usui A., Yamada S. Postoperative muscle proteolysis affects systemic muscle weakness in patients undergoing cardiac surgery. Int J Cardiol. 2014 1; 172 (3): 595-7. doi: 10.1016/j.ijcard.2014.01.062.
5. Iida Y., Yamazaki T., Arima H., Kawabe T., Yamada S. Predictors of surgery-induced muscle proteolysis in patients undergoing cardiac surgery. J Cardiol. 2016; 68 (6): 536-541. doi: 10.1016/j.jcc.2015.11.011.
6. Zuckerman J., Ades M., Mullie L., Trnkus A., Morin J.F., Langlois Y., Ma F., Levental M., Morais J.A., Afialo J. Psoas muscle area and length of stay in older adults undergoing cardiac operations. Ann Thorac Surg. 2017; 103 (5): 1498-1504. doi: 10.1016/j.athoracsur.2016.09.005.
7. Yamashita M., Kamiya K., Matsunaga A., Kitamura T., Hamazaki N., Matsuzawa R., Nozaki K., Tanaka S., Nakamura T., Maekawa E., Masuda T., Ako J., Miyaji K. Prognostic value of psoas muscle area and density in patients who undergo cardiovascular surgery. Can J Cardiol. 2017; 33 (12): 1652-1659. doi: 10.1016/j.cjca.2017.10.009.
8. Reid J.C., Unger J., McCaskell D., Childerhose L., Zorko D.J., Kho M.E. Physical rehabilitation interventions in the intensive care unit: a scoping review of 117 studies. J Intensive Care. 2018 7; 6:80. doi: 10.1186/s40560-018-0349-x.
9. Trethewey S.P., Brown N., Gao F., Turner A.M. Interventions for the management and prevention of sarcopenia in the critically ill: A systematic review. J Crit Care. 2019; 50:287-295. doi: 10.1016/j.jcrc.2019.01.008.
10. Сумин А.Н. Физические тренировки с использованием электростимуляции скелетных мышц в кардиологии. Кардиология. 2010. Т. 50. № 3. С. 83-90.
11. Gomes Neto M., Oliveira F.A., Reis H.F., de Sousa Rodrigues E. Jr, Bittencourt H.S., Oliveira Carvalho V. Effects of neuromuscular electrical stimulation on physiologic and functional measurements in patients with heart failure: a systematic review with meta-analysis. J Cardiopulm Rehabil Prev. 2016; 36 (3): 157-66. doi: 10.1097/HCR.0000000000000151.
12. Saitoh M., Dos Santos M.R., Anker M., Anker S.D., von Haehling S., Springer J. Neuromuscular electrical stimulation for muscle wasting in heart failure patients. Int J Cardiol. 2016 15; 225:200-205. doi: 10.1016/j.ijcard.2016.09.127.
13. Maddocks M., Nolan C.M., Man W.D., Polkey M.I., Hart N., Gao W., Rafferty G.F., Moxham J., Higginson I.J. Neuromuscular electrical stimulation to improve exercise capacity in patients with severe COPD: a randomised double-blind, placebo-controlled trial. Lancet Respir Med. 2016; 4 (1): 27-36. doi: 10.1016/S2213-2600(15)00503-2.
14. Suzuki T., Ikeda M., Minami M., Matayoshi Y., Nakao M., Nakamura T., Abo M. Beneficial effect of intradialytic electrical muscle stimulation in hemodialysis patients: a randomized controlled trial. Artif Organs. 2018; 42 (9): 899-910. doi: 10.1111/aor.13161.
15. Paillard T. Muscle plasticity of aged subjects in response to electrical stimulation training and inversion and/or limitation of the sarcopenic process. Ageing Res Rev. 2018; 46:1-13. doi: 10.1016/j.arr.2018.05.002.
16. Iwatsu K., Yamada S., Iida Y., Sampei H., Kobayashi K., Kainuma M., Usui A. Feasibility of neuromuscular electrical stimulation immediately after cardiovascular surgery. Arch Phys Med Rehabil. 2015; 96 (1): 63-8. doi: 10.1016/j.apmr.2014.08.012.
17. Iwatsu K., Iida Y., Kono Y., Yamazaki T., Usui A., Yamada S. Neuromuscular electrical stimulation may attenuate muscle proteolysis after cardiovascular surgery: a preliminary study. J Thorac Cardiovasc Surg. 2017; 153 (2): 373-379.e1. doi: 10.1016/j.jtcvs.2016.09.036.
18. Sachetti A., Carpes M.F., Dias A.S., Sbruzzi G. Safety of neuromuscular electrical stimulation among critically ill patients: systematic review. Rev Bras Ter Intensiva. 2018; 30 (2): 219-225. doi: 10.5935/0103-507X.20180036.
19. Rodriguez P.O., Setten M., Maskin L.P., Bonelli I., Vidomlansky S.R., Attie S., Frosiani S.L., Kozima S., Valentini R. Muscle weakness in septic patients requiring mechanical ventilation: protective effect of transcutaneous neuromuscular electrical stimulation. J Crit Care. 2012; 27 (3): 319.e1-8. doi: 10.1016/j.jcrc.2011.04.010.
20. Abu-Khabeir H.A., Abouelela A.M., Abdelkarim E.M. Effect of electrical muscle stimulation on prevention of ICU acquired muscle weakness and facilitating weaning from mechanical ventilation. Alexandria J Med. 2013; 49 (4): 309-15.
21. Medrinal C., Combret Y., Prieur G., Robledo Quesada A., Bonnevie T., Gravier F.E., Dupuis Lozeron E., Frenoy E., Contal O., Lamia B. Comparison of exercise intensity during four early rehabilitation techniques in sedated and ventilated patients in ICU: a randomised cross-over trial. Crit Care. 2018 27; 22 (1): 110. doi: 10.1186/s13054-018-2030-0.
22. Stefanou C., Karatzanos E., Mitsiou G., Psarra K., Angelopoulos E., Dimopoulos S., et al. Neuromuscular electrical stimulation acutely mobilizes endothelial progenitor cells in critically ill patients with sepsis. Ann Intensive Care. 2016; 6 (1): 21.
23. Leite M.A., Osaku E.F., Albert J., Costa C.R.L.M., Garcia A.M., Czapiwski F.d.N., Ogasawara S.M., Bertolini G.R.F., Jorge A.C., Duarte P.A.D. Effects of neuromuscular electrical stimulation of the quadriceps and diaphragm in critically ill patients: a pilot study. Crit Care Res Pract. 2018; 2018: 4298583. doi: 10.1155/2018/4298583. eCollection 2018.

24. Chen S., Jiang Y., Yu B., Dai Y., Mi Y., Tan Y., Yao J., Tian Y. Effect of transcutaneous neuromuscular electrical stimulation on prevention of intensive care unit-acquired weakness in chronic obstructive pulmonary disease patients with mechanical ventilation. *Zhonghua Wei Zhong Bing Ji Jiu Yi Xue.* 2019; 31 (6): 709-713. doi: 10.3760/cma.j.issn.2095-4352.2019.06.010.

25. Kho M.E., Truong A.D., Zanni J.M., Ciesla N.D., Brower R.G., Palmer J.B., Needham D.M. Neuromuscular electrical stimulation in mechanically ventilated patients: a randomized, sham-controlled pilot trial with blinded outcome assessment. *J Crit Care* 2015; 30 (1): 32e9. doi.org/10.1016/j.jcrc.2014.09.014.

26. Fossat G., Baudin F., Courtes L., Bobet S., Dupont A., Bretagnol A., Benzekri-Lefèvre D., Kamel T., Muller G., Bercault N., Barbier F., Runge I., Nay M.A., Skarzynski M., Mathonnet A., Boulain T. Effect of in-bed leg cycling and

electrical stimulation of the quadriceps on global muscle strength in critically ill adults: a randomized clinical trial. *JAMA.* 2018 24; 320 (4): 368-378. doi: 10.1001/jama.2018.9592.

27. Fischer A., Spiegl M., Altmann K., Winkler A., Salamon A., Themessl-Huber M., Mouhieddine M., Strasser E.M., Schiferer A., Paternostro-Sluga T., Hiesmayr M. Muscle mass, strength and functional outcomes in critically ill patients after cardiothoracic surgery: does neuromuscular electrical stimulation help? The catastim 2 randomized controlled trial. *Crit Care.* 2016 29; 20: 30. doi: 10.1186/s13054-016-1199-3.

28. Montisci A., Miceli A. A new weapon in the fight against postcardiac surgery muscle catabolism. *J Thorac Cardiovasc Surg.* 2017; 153 (2): 379-380. doi: 10.1016/j.jtcvs.2016.11.013

29. Mourtzakis M., Parry S., Connolly B., Puthuchery Z. Skeletal muscle ultrasound in Critical care: a tool in need of translation. *Ann Am Thorac Soc.* 2017; 14 (10): 1495-1503. doi: 10.1513/AnnalsATS.201612-967PS.

REFERENCES

1. Barbarash L.S., Sumin A.N., Bezdenezhnykh A.V., Zhuchkova E.A., Barbarash O.L. Prevalence of polyvascular disease in patients with ischemic heart disease. *Complex Issues of Cardiovascular Diseases.* 2013; (3): 4-11. (In Russian) doi.org/10.17802/2306-1278-2013-3-4-11

2. Barbarash O.L., Zhidkova I.I., Shibanova I.A., Ivanov S.V., Sumin A.N., Samorodskaya I.V., Barbarash L.S. The impact of comorbidities and age on the nosocomial outcomes of patients undergoing coronary artery bypass grafting. *Cardiovascular Therapy and Prevention.* 2019; 18 (2): 58-64. (In Russian) doi.org/10.15829/1728-8800-2019-2-58-64

3. van Venrooij L.M., Verberne H.J., de Vos R., Borgmeijer-Hoelen M.M., van Leeuwen P.A., de Mol B.A. Postoperative loss of skeletal muscle mass, complications and quality of life in patients undergoing cardiac surgery. *Nutrition.* 2012; 28 (1): 40-5. doi: 10.1016/j.nut.2011.02.007.

4. Iida Y., Yamazaki T., Kawabe T., Usui A., Yamada S. Postoperative muscle proteolysis affects systemic muscle weakness in patients undergoing cardiac surgery. *Int J Cardiol.* 2014 1; 172 (3): 595-7. doi: 10.1016/j.ijcard.2014.01.062.

5. Iida Y., Yamazaki T., Arima H., Kawabe T., Yamada S. Predictors of surgery-induced muscle proteolysis in patients undergoing cardiac surgery. *J Cardiol.* 2016; 68 (6): 536-541. doi: 10.1016/j.jjcc.2015.11.011.

6. Zuckerman J., Ades M., Mullie L., Trnkus A., Morin J.F., Langlois Y., Ma F., Levental M., Morais J.A., Afilalo J. Psoas muscle area and length of stay in older adults undergoing cardiac operations. *Ann Thorac Surg.* 2017; 103 (5): 1498-1504. doi: 10.1016/j.athoracsur.2016.09.005.

7. Yamashita M., Kamiya K., Matsunaga A., Kitamura T., Hamazaki N., Matsuzawa R., Nozaki K., Tanaka S., Nakamura T., Maekawa E., Masuda T., Ako J., Miyaji K. Prognostic value of psoas muscle area and density in patients who undergo cardiovascular surgery. *Can J Cardiol.* 2017; 33 (12): 1652-1659. doi: 10.1016/j.cjca.2017.10.009.

8. Reid J.C., Unger J., McCaskell D., Childerhose L., Zorko D.J., Kho M.E. Physical rehabilitation interventions in the intensive care unit: a scoping review of 117 studies. *J Intensive Care.* 2018 7; 6:80. doi: 10.1186/s40560-018-0349-x.

9. Trethewey S.P., Brown N., Gao F., Turner A.M. Interventions for the management and prevention of sarcopenia in the critically ill: A systematic review. *J Crit Care.* 2019; 50:287-295. doi: 10.1016/j.jcrc.2019.01.008.

10. Sumin A.N. Physical training with the use of electrostimulation of skeletal muscles in cardiology. *Cardiology.* 2010. T. 50. № 3. C. 83-90. (In Russian)

11. Gomes Neto M., Oliveira F.A., Reis H.F., de Sousa Rodrigues E. Jr, Bittencourt H.S., Oliveira Carvalho V. Effects of neuromuscular electrical stimulation on physiologic and functional measurements in patients with heart failure: a systematic review with meta-analysis. *J*

Cardiopulm Rehabil Prev. 2016; 36 (3): 157-66. doi: 10.1097/HCR.0000000000000151.

12. Saitoh M., Dos Santos M.R., Anker M., Anker S.D., von Haehling S., Springer J. Neuromuscular electrical stimulation for muscle wasting in heart failure patients. *Int J Cardiol.* 2016 15; 225:200-205. doi: 10.1016/j.ijcard.2016.09.127.

13. Maddocks M., Nolan C.M., Man W.D., Polkey M.I., Hart N., Gao W., Rafferty G.F., Moxham J., Higginson I.J. Neuromuscular electrical stimulation to improve exercise capacity in patients with severe COPD: a randomised double-blind, placebo-controlled trial. *Lancet Respir Med.* 2016; 4 (1): 27-36. doi: 10.1016/S2213-2600(15)00503-2.

14. Suzuki T., Ikeda M., Minami M., Matayoshi Y., Nakao M., Nakamura T., Abo M. Beneficial effect of intradialytic electrical muscle stimulation in hemodialysis patients: a randomized controlled trial. *Artif Organs.* 2018; 42 (9): 899-910. doi: 10.1111/aor.13161.

15. Paillard T. Muscle plasticity of aged subjects in response to electrical stimulation training and inversion and/or limitation of the sarcopenic process. *Ageing Res Rev.* 2018; 46:1-13. doi: 10.1016/j.arr.2018.05.002.

16. Iwatsu K., Yamada S., Iida Y., Sampei H., Kobayashi K., Kainuma M., Usui A. Feasibility of neuromuscular electrical stimulation immediately after cardiovascular surgery. *Arch Phys Med Rehabil.* 2015; 96 (1): 63-8. doi: 10.1016/j.apmr.2014.08.012.

17. Iwatsu K., Iida Y., Kono Y., Yamazaki T., Usui A., Yamada S. Neuromuscular electrical stimulation may attenuate muscle proteolysis after cardiovascular surgery: a preliminary study. *J Thorac Cardiovasc Surg.* 2017; 153 (2): 373-379.e1. doi: 10.1016/j.jtcvs.2016.09.036.

18. Sachetti A., Carpes M.F., Dias A.S., Sbruzzi G. Safety of neuromuscular electrical stimulation among critically ill patients: systematic review. *Rev Bras Ter Intensiva.* 2018; 30 (2): 219-225. doi: 10.5935/0103-507X.20180036.

19. Rodriguez P.O., Setten M., Maskin L.P., Bonelli I., Vidomlansky S.R., Attie S., Frosiani S.L., Kozima S., Valentini R. Muscle weakness in septic patients requiring mechanical ventilation: protective effect of transcutaneous neuromuscular electrical stimulation. *J Crit Care.* 2012; 27 (3): 319.e1-8. doi: 10.1016/j.jcrc.2011.04.010.

20. Abu-Khabeir H.A., Abouelela A.M., Abdelkarim E.M. Effect of electrical muscle stimulation on prevention of ICU acquired muscle weakness and facilitating weaning from mechanical ventilation. *Alexandria J Med.* 2013; 49 (4): 309-15.

21. Medrinal C., Combret Y., Prieur G., Robledo Quesada A., Bonnevie T., Gravier F.E., Dupuis Lozeron E., Frenoy E., Contal O., Lamia B. Comparison of exercise intensity during four early rehabilitation techniques in sedated and ventilated patients in ICU: a randomised cross-over trial. *Crit Care.* 2018 27; 22 (1): 110. doi: 10.1186/s13054-018-2030-0.

22. Stefanou C., Karatzanos E., Mitsiou G., Psarra K., Angelopoulos E., Dimopoulos S., et al. Neuromuscular electrical stimulation acutely mobilizes endothelial progenitor cells in critically ill patients with sepsis. *Ann Intensive Care*. 2016; 6 (1): 21.
23. Leite M.A., Osaku E.F., Albert J., Costa C.R.L.M., Garcia A.M., Czapiessvski F.d.N., Ogasawara S.M., Bertolini G.R.F., Jorge A.C., Duarte P.A.D. Effects of neuromuscular electrical stimulation of the quadriceps and diaphragm in critically ill patients: a pilot study. *Crit Care Res Pract*. 2018; 2018: 4298583. doi: 10.1155/2018/4298583. eCollection 2018.
24. Chen S., Jiang Y., Yu B., Dai Y., Mi Y., Tan Y., Yao J., Tian Y. Effect of transcutaneous neuromuscular electrical stimulation on prevention of intensive care unit-acquired weakness in chronic obstructive pulmonary disease patients with mechanical ventilation. *Zhonghua Wei Zhong Bing Ji Jiu Yi Xue*. 2019; 31 (6): 709-713. doi: 10.3760/cma.j.isn.2095-4352.2019.06.010.
25. Kho M.E., Truong A.D., Zanni J.M., Ciesla N.D., Brower R.G., Palmer J.B., Needham D.M. Neuromuscular electrical stimulation in mechanically ventilated patients: a randomized, sham-controlled pilot trial with blinded outcome assessment. *J Crit Care* 2015; 30 (1): 32e9. doi.org/10.1016/j.jcrc.2014.09.014.
26. Fossat G., Baudin F., Courtes L., Bobet S., Dupont A., Bretagnol A., Benzekri-Lefèvre D., Kamel T., Muller G., Bercault N., Barbier F., Runge I., Nay M.A., Skarzynski M., Mathonnet A., Boulain T. Effect of in-bed leg cycling and electrical stimulation of the quadriceps on global muscle strength in critically ill adults: a randomized clinical trial. *JAMA*. 2018 24; 320 (4): 368-378. doi: 10.1001/jama.2018.9592.
27. Fischer A., Spiegl M., Altmann K., Winkler A., Salamon A., Themessl-Huber M., Mouhieddine M., Strasser E.M., Schiferer A., Paternostro-Sluga T., Hiesmayr M. Muscle mass, strength and functional outcomes in critically ill patients after cardiothoracic surgery: does neuromuscular electrical stimulation help? The catastim 2 randomized controlled trial. *Crit Care*. 2016 29; 20: 30. doi: 10.1186/s13054-016-1199-3.
28. Montisci A., Miceli A. A new weapon in the fight against postcardiac surgery muscle catabolism. *J Thorac Cardiovasc Surg*. 2017; 153 (2): 379-380. doi: 10.1016/j.jtcvs.2016.11.013
29. Mourtzakis M., Parry S., Connolly B., Puthuchery Z. Skeletal muscle ultrasound in Critical care: a tool in need of translation. *Ann Am Thorac Soc*. 2017; 14 (10): 1495-1503. doi: 10.1513/AnnalsATS.201612-967PS.

Для цитирования: А.Н. Сумин, П.А. Олейник, А.В. Безденежных. Возможность использования электростимуляции скелетных мышц в реабилитации больных после кардиохирургических операций. *Комплексные проблемы сердечно-сосудистых заболеваний*. 2019; 8 (4S): 70-81. DOI: 10.17802/2306-1278-2019-8-4S-70-81

To cite: A.N. Sumin, P.A. Oleynik, A.V. Bezdenejnykh. The possibility of using skeletal muscle electrical stimulation in the rehabilitation of patients after cardiac surgery. *Complex Issues of Cardiovascular Diseases*. 2019; 8 (4S): 70-81. DOI: 10.17802/2306-1278-2019-8-4S-70-81