



УДК 616.12-089.843:616.74-009.54

DOI 10.17802/2306-1278-2025-14-6S-60-71

ФЕНОТИП МЫШЕЧНОГО СТАТУСА У БОЛЬНЫХ В ЛИСТЕ ОЖИДАНИЯ ТРАНСПЛАНТАЦИИ СЕРДЦА

А.Н. Сумин, А.В. Щеглова, Д.П. Голубовская, Я.И. Брюханов, Д.Н. Федорова,
М.И. Аньчкова, Т.Б. Печерина

Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Научно-исследовательский институт комплексных проблем сердечно-сосудистых заболеваний», бульвар им. академика Л.С. Барбараша, 6, Кемерово, Российская Федерация, 650002

Основные положения

• В исследовании впервые выявлен специфический фенотип мышечного статуса у пациентов в листе ожидания трансплантации сердца: выраженная слабость мышц нижних конечностей (снижение силы на 30–70%) по сравнению с другими категориями кардиохирургических больных. Установлена системность мышечного вовлечения – тесная взаимосвязь силы симметричных мышечных групп нижних конечностей, что обосновывает необходимость разработки персонализированных реабилитационных программ, в том числе с применением электромиостимуляции для коррекции выявленных нарушений.

Цель

Сопоставить мышечный статус пациентов в листе ожидания трансплантации сердца (ТС) и у других категорий больных кардиохирургической клиники.

Материалы и методы

Исследование выполнено с участием 213 пациентов, разделенных на три группы: группа I (n = 30) – кандидаты на ТС; группа II (n = 122) – кардиохирургические пациенты перед плановой операцией; группа III (n = 61) – кардиохирургические пациенты с осложненным послеоперационным периодом. В рамках исследования проводили комплексную оценку клинико-анамнестического статуса и инструментальную диагностику. Мышечный статус оценивали с помощью изокинетического динамометра Lafayette MMT 01165 (сила разгибателей/сгибателей коленных суставов и стоп) и динамометра ДК 100 (сила хвата кистей). Оценивали параметры эхокардиографии, у пациентов группы I дополнительно проводили объемную сфигмографию для оценки показателей сосудистой жесткости и характеристик гемодинамики.

Результаты

В группе I отмечена большая доля мужчин (p = 0,042) и частота реваскуляризации (p ≤ 0,027) по сравнению с группами II и III. У пациентов группы I выявлены выраженные структурно-функциональные изменения сердца: увеличение левых и правых размеров сердца и критически низкая ФВ ЛЖ (22%; p < 0,001). Группа I продемонстрировала значимое снижение силы мышц нижних конечностей относительно групп II/III (p < 0,001): разгибатели колена – на 30,1–40,2%, сгибатели колена – на 35,8–36,4%, разгибатели стопы – на 69,4–69,9%, сгибатели стопы – на 37,8–44,2%. Сила хвата кистей не различалась между группами (p > 0,100). Регрессионный анализ подтвердил системность мышечного вовлечения: выявлена тесная взаимосвязь силы симметричных мышечных групп (p < 0,001).

Заключение

У пациентов в листе ожидания ТС выявлена выраженная слабость мышц нижних конечностей по сравнению с другими категориями кардиохирургических больных. При множественном регрессионном анализе для разгибателей колена справа выявлена ассоциация только с контралатеральными мышцами, но не с другими мышечными группами. Полученные результаты будут способствовать разработке и оценке эффективности персонализированных программ электростимуляции скелетных мышц у больных в листе ожидания ТС.

Ключевые слова

Трансплантация сердца • Хроническая сердечная недостаточность • Мышечный статус • Электромиостимуляция

Поступила в редакцию: 07.10.2025; поступила после доработки: 22.10.2025; принята к печати: 02.11.2025

Для корреспонденции: Алексей Николаевич Сумин, an_sumin@mail.ru; адрес: бульвар им. академика Л.С. Барбараша, 6, Кемерово, Российская Федерация, 650002

Corresponding author: Alexey N. Sumin, an_sumin@mail.ru; address: 6, academician Barbarash blvd., Kemerovo, Russian Federation, 650002

MUSCLE STATUS PHENOTYPE IN PATIENTS ON THE WAITING LIST FOR CARDIAC TRANSPLANTATION

A.N. Sumin, A.V. Shcheglova, D.P. Golubovskaya, Ya.I. Bryukhanov, D.N. Fedorova, M.I. Anchkova, T.B. Pecherina

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

Highlights

- The study was the first to identify a specific phenotype of muscle status in patients on the waiting list for heart transplantation: pronounced weakness of the lower extremity muscles (a decrease in strength by 30–70%) compared to other categories of cardiac surgical patients. The study also revealed the systemic nature of muscle involvement, with a close correlation between the strength of the symmetrical muscle groups in the lower extremities, which highlights the need for personalized rehabilitation programs, including the use of electromyostimulation to address these impairments.

Aim To compare the muscular status of patients on the heart transplantation (HT) waiting list with that of other cardiac surgery patients.

Methods The study included 213 patients divided into three groups: Group I (n = 30) – HT candidates; Group II (n = 122) – patients prior to scheduled cardiac surgery; Group III (n = 61) – patients with a complicated postoperative period. Muscular status was assessed using the Lafayette MMT 01165 isokinetic dynamometer (knee and foot extensors/flexors) and the DK 100 dynamometer (handgrip strength). Echocardiography was performed in all groups; volume sphygmography (vascular stiffness and hemodynamics) – in Group I.

Results Group I had a higher proportion of males ($p = 0,042$) and revascularization rate ($p \leq 0,027$) vs. Groups II/III. Patients in Group I showed enlarged heart dimensions and critically low LVEF (22%; $p < 0,001$). Group I demonstrated significant lower limb muscle weakness vs. Groups II/III ($p < 0,001$): knee extensors – 30,1–40,2% lower; knee flexors – 35,8–36,4% lower; foot extensors – 69,4–69,9% lower; foot flexors – 37,8–44,2% lower. Handgrip strength did not differ between groups ($p > 0,100$). Regression analysis confirmed systemic muscular involvement (strong interrelationship between symmetrical muscle groups, $p < 0,001$).

Conclusion Patients on the HT waiting list show severe lower limb muscle weakness compared to other cardiac surgery patients. Multiple regression analysis revealed that right knee extensors associate only with contralateral muscles. Findings will inform personalized electromyostimulation programs for HT candidates.

Keywords Heart transplantation • Chronic heart failure • Muscular status • Electromyostimulation

Received: 07.10.2025; received in revised form: 22.10.2025; accepted: 02.11.2025

Список сокращений

ТС – трансплантация сердца ХСН – хроническая сердечная недостаточность
ФВ ЛЖ – фракция выброса левого желудочка ЭМС – электростимуляция скелетных мышц

Введение

Трансплантация сердца (ТС) является золотым стандартом в лечении терминальной стадии хронической сердечной недостаточности (ХСН), однако недостаток доноров приводит к длительному времени пребывания больных в листе ожидания [1]. Помимо риска прогрессирования основного заболевания за этот период происходят изменения в других органах и системах. В частности, ухудшается состояние скелетных мышц, вплоть до развития саркопении [2].

Уменьшение массы мышц и снижение их силы способны нивелироваться на фоне увеличения физической активности после успешной ТС [3, 4], однако мышечный статус оказался одним из главных факторов, влияющих на функциональное состояние больных после ТС [5], что требует целенаправленных программ по его улучшению с использованием физических тренировок [2]. Помимо этого, состояние скелетных мышц является одним из факторов неблагоприятного прогноза у больных после ТС [6],

а снижение мышечной массы отрицательно влияет на прогноз у больных в листе ожидания ТС [7]. Поэтому выглядит обоснованным попытаться воздействовать на состояние скелетных мышц во время нахождения больных в листе ожидания ТС, чтобы улучшить мышечный статус или хотя бы предотвратить его ухудшение.

Однако из-за тяжести состояния больных традиционные программы реабилитации затруднены: некоторым требуется постоянная инотропная поддержка [8], другим невозможно участвовать в амбулаторных программах реабилитации. Есть лишь единичные исследования [9, 10], в которых описаны примеры использования адаптированных программ физических упражнений, которые трудно масштабировать.

Тем не менее существуют методы улучшения функционального состояния скелетных мышц, минимально влияющие на параметры гемодинамики – например, электростимуляция скелетных мышц (ЭМС), широко используемая в неврологической практике [11]. В кардиологической клинике именно у больных с ХСН впервые стали применять данный метод пассивных физических тренировок [12], затем ЭМС использовали в преабилитации больных перед кардиохирургическими операциями [13], а также у больных с осложненным течением послеоперационного периода [15]. Поэтому идея использования такого метода реабилитации у самых тяжелых больных с ХСН, ожидающих ТС, выглядит привлекательной. Для разработки персонализированных программ тренировок требуется дополнительное изучение мышечного статуса у таких больных. Это послужило основанием для настоящего исследования, **целью** которого было сопоставить мышечный статус у больных в листе ожидания ТС и у других категорий больных кардиохирургической клиники.

Материал и методы

Исследование проведено на базе ФГБУ «Научно-исследовательский институт комплексных проблем сердечно-сосудистых заболеваний» (НИИ КПССЗ, г. Кемерово). В рамках исследования проанализированы две когорты пациентов с различным дизайном набора и временными рамками. Проспективная когорта сформирована из пациентов с ХСН, которые либо уже включены в лист ожидания ТС или рассматриваемые как кандидаты на включение в лист ожидания ($n = 30$, 26 мужчин и 4 женщины, средний возраст $58,3 \pm 9,6$ лет; группа 1). Ретроспективная когорта охватывает пациентов, кардиохирургического профиля и включает две группы: кардиохирургические пациенты, прошедшие стационарное обследование и подготовку к плановому кардиохирургическому вмешательству ($n = 122$, 83 мужчины и 39 женщин, средний возраст $62,8 \pm 5,0$ лет; группа 2) в период с 7 сентября 2020 г. по 30 сентября 2022 г. и кардиохирургические пациенты с осложненным течением

раннего послеоперационного периода, приведшим к увеличению срока пребывания в отделении интенсивной терапии (48 часов и более) и продлению искусственной вентиляции легких ($n = 61$, 44 мужчины и 17 женщин, средний возраст $61,0 \pm 5,5$ лет; группа 3) оперированные в период с марта 2017 года по июнь 2019 г. Общий размер выборки составил 213 пациентов. Критерии включения для всех групп предусматривали наличие подписанного информированного согласия и отсутствие острых состояний в течение последних трех месяцев. При этом для первой группы отбирались пациенты с терминальной стадией сердечной недостаточности, соответствующие показаниям к ожидаемой трансплантации сердца, для второй группы – пациенты, подготавливаемые к кардиохирургическому вмешательству с искусственным кровообращением, а для третьей группы – пациенты, перенесшие кардиохирургическое вмешательство. Критерии исключения для всех групп: наличие онкологических заболеваний, тяжелых неврологических нарушений, дефектов опорно-двигательного аппарата, жизнеугрожающих нарушений ритма/проводимости, нестабильной гемодинамики, тяжелой рефрактерной легочной гипертензии, снижения или утраты когнитивных функций, препятствующих полноценному ознакомлению с протоколом исследования, проведения хирургических вмешательств в экстренном или неотложном порядке и отказа от участия. Пациентам проводилось стандартное обследование, включающее демографические, клинические и инструментальные исследования. Из анамнестических показателей учитывалось наличие реваскуляризации миокарда, инфаркта миокарда, инсульта, артериальной гипертензии и сахарный диабет.

Эхокардиографию выполняли на аппарате «Vivid 7 Dimension» (General Electric, Бостон, Массачусетс, США) с целью комплексной оценки структурно-функциональных параметров сердца, включая определение ФВ ЛЖ по методу Симпсона, в соответствии с действующими рекомендациями [14].

Мышечный статус оценивали: в первой и второй группах – до кардиохирургического вмешательства; в третьей группе – начиная с третьих суток пребывания в отделении реанимации и интенсивной терапии, при первой технической возможности. Оценка проводилась с помощью изокинетического динамометра Lafayette ММТ 01165 (США), измеряя силу сгибателей и разгибателей коленного сустава и стопы. Измерения проводили в положении сидя при максимальном мышечном усилии. Результаты (максимальная мышечная сила) фиксировались в режиме реального времени на встроенном экране прибора. Для каждой мышечной группы выполняли четыре парных упражнения. Силу хвата кисти определяли с помощью динамометра ДК 100 (Россия) путем последовательного измерения правой и левой руки с регистрацией парных по-

казателей. Все процедуры осуществляли согласно стандартизированному протоколу для обеспечения воспроизводимости результатов.

Пациентам первой группы с тяжелой ХСН дополнительно выполняли измерение гемодинамических параметров методом объемной сфигмографии на аппарате VaSera VS-1000: накладывали манжеты на плечи и голени, регистрировали ЭКГ сигналы и фонокардиограмму, после чего определяли систолическое и диастолическое артериальное давление (САД/ДАД), пульсовое давление (ПАД), сердечно-лодыжечный сосудистый индекс (CAVI) и лодыжечно-плечевой индекс (ЛПИ).

Исследование выполнено в соответствии с Хельсинкской декларацией и одобрено локальным этическим комитетом НИИ КПССЗ (протокол № 5 от 07.04.2025 г.) при поддержке гранта Российского научного фонда № 25-15-20054 «Методика физической реабилитации в виде пассивных физических тренировок с использованием электромиостимуляции у пациентов с тяжелой сердечной недостаточностью из листа ожидания на ортотопическую трансплантацию сердца».

Статистическая обработка данных

Статистическая обработка данных выполнялась с использованием программного пакета SPSS (версия 17.0). Количественные показатели представлены в виде медианы с указанием нижнего и верхнего квартилей (Me [LQ; UQ]). Категориальные переменные выражены в абсолютных значениях и процентах. Для сравнения количественных показателей между тремя группами применялся непараметрический критерий Краскела – Уоллиса с последующим попарным сравнением по критерию Манна – Уитни. Для категориальных переменных использовался критерий хи-квадрат Пирсона с поправкой на множественные сравнения. Связь между силой отдельных мышечных групп оценивалась методом множественного линейного регрессионного анализа с пошаговым отбором переменных (stepwise method). Статистически значимыми считались различия при $p < 0,05$.

Результаты

В ходе анализа демографических и клинико-анамнестических данных выявлены значимые межгрупповые различия (табл. 1). Группа I (канди-

Таблица 1. Демографические и клинико-анамнестические характеристики обследованных групп
Table 1. Demographic and clinical anamnestic characteristics of the study groups

Показатель / Figure, n, %; Me [LQ; UQ]	Группа I / Group I (n = 30)	Группа II / Group II (n = 122)	Группа III / Group III (n = 61)	p
Мужчины / Men	26 (86,7)	83 (68,0)	44 (72,13)	1-2 = 0,042 1-3 = 0,122 2-3 = 0,571
Возраст, лет / Age, years	61,5 [51,0;65,0]	63,0 [58,5; 68,0]	62,5 [57,0;69,0]	1-2 > 0,100 1-3 > 0,100 2-3 > 0,100
ИМТ, кг/м ² / BMI, kg/m ²	29,5 [25,9;31,4]	28,0 [25,7; 32,4]	28,0 [24,7; 31,7]	1-2 < 0,05 1-3 > 0,05 2-3 > 0,10
ФК ХСН ≥ 3 / NYHA class ≥ 3 (n, %)	14 (46,7)	67 (54,9)	43 (70,5)	1-2 = 0,417 1-3 = 0,027 2-3 = 0,043
ФК стенокардии ≥ 3 / FC angina pectoris ≥ 3 (n, %)	1 (3,3)	36 (29,5)	11 (18,0)	1-2 = 0,003 1-3 = 0,051 2-3 = 0,094
ИМ в анамнезе / MI history	15 (50,0)	61 (50,0)	28 (45,9)	1-2 = 1,00 1-3 = 0,713 2-3 = 0,601
АГ в анамнезе / AH	28 (93,3)	100 (82,0)	55 (90,2)	1-2 = 0,126 1-3 = 0,616 2-3 = 0,147
Инсульт в анамнезе / Stroke history	1 (3,3)	13 (10,7)	8 (13,1)	1-2 = 0,214 1-3 = 0,142 2-3 = 0,623
Сахарный диабет в анамнезе / Diabetes history	8 (26,7)	37 (30,3 %)	10 (16,4)	1-2 = 0,694 1-3 = 0,248 2-3 = 0,042
Реваскуляризация в анамнезе / History of revascularization	21 (70,0)	13 (10,7 %)	14 (23,0)	1-2 = 0,001 1-3 = 0,001 2-3 = 0,027

Примечание: АГ – артериальная гипертензия; ИМ – инфаркт миокарда; ИМТ – индекс массы тела; ФК – функциональный класс; ХСН – хроническая сердечная недостаточность.

Note: AH – arterial hypertension; BMI – body mass index; FC – functional class; MI – myocardial infarction; NYHA – New York Heart Association.

даты на ТС) отличалась большей долей мужчин ($p = 0,042$), более высоким индексом массы тела ($p < 0,05$) и частотой реваскуляризации ($p \leq 0,027$) по сравнению с группами II и III. В группе III реже встречался сахарный диабет ($p = 0,042$) по сравнению с группой II. По возрасту, артериальной гипертензии и инфаркту миокарда в анамнезе группы не различались ($p > 0,05$).

Анализ эхокардиографических показателей выявил статистически значимые различия между группами (табл. 2). У пациентов группы I (кандидаты на ТС) зафиксированы выраженные структурно функциональные изменения: значительное увеличение размеров левого предсердия ($p < 0,001$) и объемов ЛЖ ($p < 0,01$) при критически низкой ФВ ЛЖ (22,0%; $p < 0,001$). В кардиохирургических группах II и III объемные показатели ЛЖ были сопоставимы ($p > 0,100$), однако в группе III с кардиохирургическими осложнениями выявлены признаки большей гипертрофии миокарда – увеличение толщины межжелудочковой перегородки ($p < 0,001$) и задней стенки ЛЖ ($p < 0,001$), а также тенденция к расширению аорты ($p = 0,05$), что свидетельствует о более выраженном ремоделировании сердца у пациентов с осложненным послеоперационным течением.

У пациентов группы ТС при анализе гемодинамических параметров выявлены контролируемые уровни артериального давления: медиана САД составила 125,0 (116,0; 136,0) мм рт. ст., ДАД – 78,0 (72,0; 86,0) мм рт. ст., ПАД – 44,0 (32,0; 53,0) мм рт. ст. При этом медиана индекса САVI достигла 8,5 (6,5; 9,7), что указывает на повышенную жесткость сосудов. Медиана ЛПИ находилась вблизи нижней границы нормы – 0,96 (0,8; 1,0), что может свидетельствовать также о субклиническом поражении периферического сосудистого русла.

Анализ мышечного статуса выявил выраженную слабость периферических мышц у пациентов группы ТС по сравнению с кардиохирургическими группами (рис. 1–5). Сила разгибателей и сгибателей коленных суставов в группе I была на 40–50% ниже, чем в группах II и III ($p < 0,001$ для всех сравнений, рис. 1, 2).

Аналогичные различия отмечены для силы разгибателей и сгибателей стоп – показатели группы I составили лишь 25–40% от значений групп II и III ($p < 0,001$, рис. 3, 4).

При этом между группами II и III различия по силе мышц нижних конечностей были минимальными и статистически незначимыми ($p > 0,100$ для большинства сравнений), за исключением силы

Таблица 2. Основные показатели эхокардиографии в исследуемых группах
Table 2. Main echocardiography (EchoCG) parameters in the study groups

Показатель / Figure n, %; Me [LQ; UQ]	Группа I / Group I (n = 30)	Группа II / Group II (n = 122)	Группа III / Group III (n = 61)	p
ДЛП, см / LAD, cm	5,2 [4,6;5,8]	4,55 [4,2; 5,2]	4,5 [4,2;5,0]	1-2 < 0,001 1-3 < 0,001 2-3 > 0,100
КСО ЛЖ, мл / ESV LV, mL	150,0 [140,0;239,0]	69,0 [47,0; 113,0]	79,0 [54,0;141,0]	1-2 < 0,001 1-3 < 0,001 2-3 > 0,100
КДО ЛЖ, мл / EDV LV, mL	202,0 [181,0; 290,0]	176,5 [135,0; 231,0]	187,0 [141,0;255,0]	1-2 < 0,01 1-3 > 0,100 2-3 > 0,100
Толщина МЖП, мм / IVST, mm	1,0 [0,9;1,2]	1,0 [1,0; 1,3]	1,2 [1,0;1,3]	1-2 > 0,100 1-3 > 0,100 2-3 < 0,001
Толщина ЗСЛЖ, мм / PWT, mm	1,0 [0,8;1,2]	1,0 [1,0; 1,2]	1,1 [1,0;1,3]	1-2 > 0,100 1-3 > 0,100 2-3 < 0,001
Аорта, см / Aorta, cm	3,5 [3,3;4,0]	3,5 [3,3; 3,8]	3,6 [3,3;3,9]	1-2 > 0,100 1-3 > 0,100 2-3 < 0,05
ФВ ЛЖ / LV EF, %	22,0 [18,0;31,0]	61,5 [48,0; 67,0]	57,0 [39,0;64,0]	1-2 < 0,001 1-3 < 0,01 2-3 < 0,01
Соотношение E/A / E/A ratio	1,2 [0,6; 3,2]	0,73 [0,62; 1,06]	0,83 [0,67;1,79]	1-2 < 0,001 1-3 > 0,100 2-3 > 0,100

Примечание: ДЛП – диаметр левого предсердия; ЗСЛЖ – задняя стенка левого желудочка; КДО – конечно диастолический объем; КСО – конечно систолический объем; ЛЖ – левый желудочек; МЖП – толщина межжелудочковой перегородки; ФВ ЛЖ – фракция выброса левого желудочка; E/A – отношение пиковой скорости потока раннего диастолического наполнения к пиковой скорости потока позднего диастолического наполнения.

Note: E/A – ratio of early to late diastolic filling velocities; EDV – end-diastolic volume; ESV – end-systolic volume; IVST – interventricular septal thickness; LAD – left atrial diameter; LVEF – left ventricular ejection fraction; PWT – posterior wall thickness.

разгибателей правой стопы (II–III: $p < 0,01$) и левой стопы (II–III: $p < 0,05$). В отличие от нижних конечностей, сила хвата кистей рук не различалась между группами ($p > 0,100$, рис. 5), что, вероятно, указывает на преимущественное поражение дистальных мышц нижних конечностей у пациентов с тяжелой ХСН.

Полученные данные линейного регрессионного анализа (табл. 3) демонстрируют выраженную взаимозависимость силы симметричных мышечных групп и указывают на системность мышечного вовлечения при ХСН: так, сила разгибателей правого колена позитивно ассоциирована с силой разгибателей левого колена ($\beta = 0,750$, $p < 0,001$); сила разгибателей левого колена – с силой разгибателей правого колена ($\beta = 0,550$, $p = 0,001$) и силой сжатия правой кисти ($\beta = 0,358$, $p = 0,010$); сила сгибателей правого колена – с силой сгибателей левого колена ($\beta = 0,824$, $p < 0,001$) и силой сгибателей левой стопы ($\beta = 0,232$, $p = 0,025$); сила разгибателей правой стопы – с силой разгибателей левой

стопы ($\beta = 0,714$, $p < 0,001$) и силой сгибателей правой стопы ($\beta = 0,400$, $p = 0,002$); сила сгибателей правой стопы – с силой сгибателей левой стопы ($\beta = 0,511$, $p = 0,004$) и силой разгибателей правой стопы ($\beta = 0,850$, $p = 0,003$); сила сжатия правой кисти – с силой сжатия левой кисти ($\beta = 0,874$, $p < 0,001$).

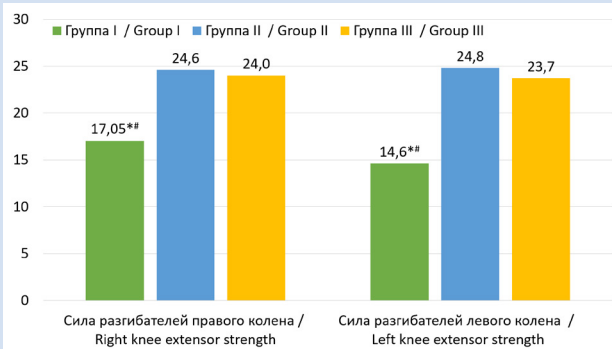


Рисунок 1. Сила разгибателей колена у обследованных групп больных

Примечание: * – $p > 0,05$ при сравнении I и II групп; # – $p > 0,05$ при сравнении I и III групп.

Figure 1. Knee extensor strength in the examined groups of patients

Note: * – $p > 0.05$ when comparing groups I and II; # – $p > 0.05$ when comparing groups I and III.

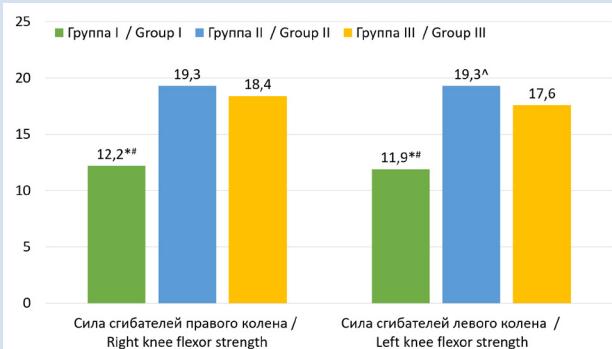


Рисунок 2. Сила сгибателей колена у обследованных групп больных

Примечание: * – $p > 0,05$ при сравнении I и II групп; # – $p > 0,05$ при сравнении I и III групп; ^ – $p > 0,05$ при сравнении II и III групп.

Figure 2. Knee flexor strength in the examined groups of patients

Note: * – $p > 0.05$ when comparing groups I and II; # – $p > 0.05$ when comparing groups I and III; ^ – $p > 0.05$ when comparing groups II and III.

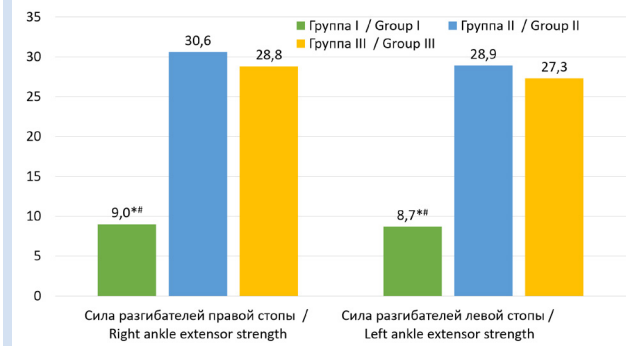


Рисунок 3. Сила разгибателей голеностопного сустава у обследованных групп больных

Примечание: * – $p > 0,05$ при сравнении I и II групп; # – $p > 0,05$ при сравнении I и III групп.

Figure 3. Strength of ankle extensors in the examined groups of patients

Note: * – $p > 0.05$ when comparing groups I and II; # – $p > 0.05$ when comparing groups I and III.

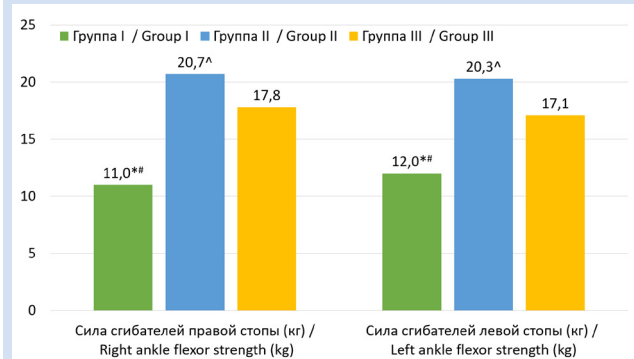


Рисунок 4. Сила сгибателей голеностопного сустава у обследованных групп больных

Примечание: * – $p > 0,05$ при сравнении I и II групп; # – $p > 0,05$ при сравнении I и III групп; ^ – $p > 0,05$ при сравнении II и III групп.

Figure 4. Ankle flexor strength in the examined groups of patients

Note: * – $p > 0.05$ when comparing groups I and II; # – $p > 0.05$ when comparing groups I and III; ^ – $p > 0.05$ when comparing groups II and III.

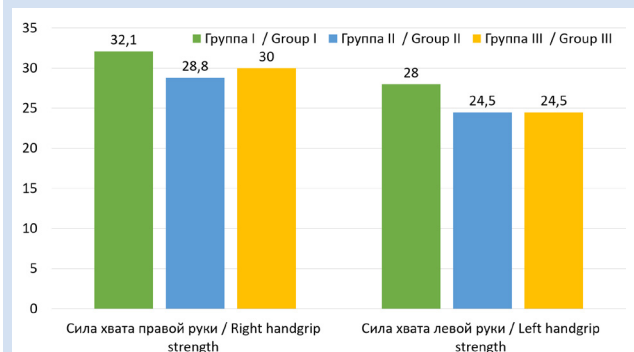


Рисунок 5. Сила хвата у обследованных групп больных

Figure 5. Grip strength in the examined groups of patients

Таблица 3. Ассоциация силы отдельных мышечных групп с силой других мышечных групп (линейный регрессионный анализ, stepwise method) у обследованных групп больных**Table 3.** Association of the strength of individual muscle groups with the strength of other muscle groups (linear regression analysis, stepwise method) in the examined groups of patients

Показатели / Indicators	B	Std. Error	Beta	t	Sig.	95,0% ДИ для B / CI for B	
						Нижняя граница / Lower Bound	Верхняя граница / Upper Bound
Сила мышц разгибателей правого колена / Strength of the right knee extensor muscles							
(Constant)	5,028	2,518		1,997	0,061	-0,261	10,318
Сила мышц разгибателей левого колена / Strength of the left knee extensor muscles	0,714	0,148	0,750	4,810	0,000	0,402	1,026
Сила мышц разгибателей левого колена / Strength of the left knee extensor muscles							
(Constant)	-5,871	3,243		-1,811	0,089	-12,745	1,003
Сила мышц разгибателей правого колена / Strength of the right knee extensor muscles	0,578	0,146	0,550	3,956	0,001	0,268	0,887
Сила сжатия кисти справа / Hand compression force on the right	0,226	0,077	0,358	2,924	0,010	0,062	0,389
Сила мышц сгибателей правой стопы / Strength of the flexor muscles in the right foot	0,412	0,193	0,296	2,137	0,048	0,003	0,821
Сила мышц сгибателей правого колена / Strength of the right knee flexor muscles							
(Constant)	-0,006	1,355		-0,004	0,997	-2,865	2,854
Сила мышц сгибателей левого колена / Strength of the left knee flexor muscles	0,739	0,085	0,824	8,715	0,000	0,560	0,918
Сила мышц сгибателей левой стопы / Strength of the flexor muscles in the left foot	0,271	0,110	0,232	2,454	0,025	0,038	0,504
Сила мышц сгибателей левого колена / Strength of the left knee flexor muscles							
(Constant)	0,119	1,430		0,083	0,935	-2,886	3,124
Сила мышц сгибателей правого колена / Strength of the right knee flexor muscles	1,009	0,111	0,906	9,060	0,000	0,775	1,243
Сила мышц разгибателей правой стопы / Strength of the right foot extensor muscles							
(Constant)	-0,745	1,330		-0,560	0,583	-3,551	2,062
Сила мышц разгибателей левой стопы / Strength of the left foot extensor muscles	0,669	0,103	0,714	6,503	0,000	0,452	0,886
Сила мышц сгибателей правой стопы / Strength of the flexor muscles in the right foot	0,312	0,086	0,400	3,638	0,002	0,131	0,492
Сила мышц разгибателей левой стопы / Strength of the left foot extensor muscles							
(Constant)	3,016	1,530		1,971	0,065	-0,212	6,243
Сила мышц разгибателей правой стопы / Strength of the right foot extensor muscles	1,067	0,164	0,998	6,503	0,000	0,721	1,413
Сила мышц сгибателей правой стопы / Strength of the right foot flexor muscles	-0,275	0,128	-0,331	-2,153	0,046	-0,545	-0,006
Сила мышц сгибателей правой стопы / Strength of the flexor muscles in the right foot							
(Constant)	0,239	2,567		0,093	0,927	-5,203	5,680
Сила мышц сгибателей левой стопы / Strength of the flexor muscles in the left foot	0,723	0,211	0,511	3,421	0,004	0,275	1,172
Сила мышц разгибателей правой стопы / Strength of the right foot extensor muscles	1,089	0,316	0,850	3,447	0,003	0,419	1,759
Сила мышц разгибателей левой стопы / Strength of the left foot extensor muscles	-0,693	0,284	-0,577	-2,438	0,027	-1,295	-0,090
Сила мышц сгибателей левой стопы / Strength of the flexor muscles in the left foot							
(Constant)	5,460	1,565		3,490	0,003	2,173	8,747
Сила мышц сгибателей правой стопы / Strength of the flexor muscles in the right foot	0,480	0,122	0,679	3,926	0,001	0,223	0,736
Сила сжатия кисти справа / Hand compression force on the right							
(Constant)	-0,036	4,381		-0,008	0,994	-9,240	9,168
Сила сжатия кисти слева / Left hand compression force	1,046	0,137	0,874	7,621	0,000	0,758	1,334
Сила сжатия кисти слева / Left hand compression force							
(Constant)	7,301	3,230		2,260	0,036	0,515	14,087
Сила сжатия кисти справа / Right hand compression force	0,730	0,096	0,874	7,621	0,000	0,529	0,931

Обсуждение

До настоящего времени не проводилось такого сопоставления мышечного статуса у различных групп кардиохирургических больных, которые возникают вследствие основного процесса и которые можно охарактеризовать как различия в его фенотипе, поскольку они сформировались в процессе заболевания. Можно было ожидать, что влияние основного заболевания (либо наличие декомпенсированного порока сердца, либо хронической коронарной патологии, требующих хирургической коррекции) приведет к ухудшению мышечного статуса вследствие ограничения физической активности [13]. Также длительное пребывание в реанимационном отделении по причине осложненного течения послеоперационного периода способно снизить силу и объем скелетных мышц [16]. Однако наиболее выраженные изменения оказались у больных в листе ожидания, которые можно отнести к понятию «вторичная саркопения» [17, 18].

Наличие дисфункции скелетных мышц при сердечной недостаточности представляет собой серьезную клиническую проблему [19]: ухудшается физическая работоспособность, качество жизни, а также отмечается неблагоприятное влияние на прогрессирование ХСН [20]. В конечном счете это приводит к неблагоприятному влиянию низкого мышечного статуса на прогноз у различных категорий больных ХСН, которое в наибольшей степени выражено при далеко зашедших стадиях ХСН, в том числе в листе ожидания ТС [7, 6].

Как следствие, при проведении программы физической реабилитации у больных ХСН дополнительно оценивается их влияние на состояние скелетных мышц [21]. При выраженной ХСН из за клинической тяжести состояния больных требуются специально подобранные физические тренировки. Так, у больных ХСН III функционального класса использовали дозированную ходьбу, уровень нагрузки при которой подбирался по уровню лактатного порога [22]. Такой вид тренировок привел к позитивному ответу скелетной мускулатуры и показал свою эффективность в реализации регенераторного потенциала в клетках предшественниках мышечных волокон. Авторы данного исследования показали, что при повторной биопсии мышц голени после программы физической реабилитации выявлено улучшение морфофункциональных показателей скелетных мышц: уменьшение диаметра мышечных волокон (то есть снижение их отека), повышение активности щелочной фосфатазы и снижение активности лактатдегидрогеназы как в окислительных, так и в гликолитических мышечных волокнах, что может свидетельствовать об улучшении кровоснабжения мышц [22].

Описан также случай длительного (в течение 5 лет) нахождения пациента в листе ожидания ТС

на фоне регулярных индивидуально подобранных физических тренировок [9]. Тренировки включали 30 минутную непрерывную тренировку на велотренажере с постоянной мощностью, эквивалентной 100 % от анаэробного порога, 5 дней в неделю. Каждый сеанс кардиореабилитации дополнялся 30 минутным курсом оздоровительной терапии, 30 минутными упражнениями на растяжку на полу и 60 минутной ходьбой 5 дней в неделю. Интенсивность упражнений корректировалась в соответствии с результатами кардиопульмонального теста, проводимого каждые 4 недели [9]. Тем не менее масштабировать такую программу тренировок на всех больных в листе ожидания ТС до сих пор не удается.

Альтернативой подобным аэробным тренировкам являются целенаправленные воздействия на скелетные мышцы с использованием их электрической стимуляции. Данный метод в минимальной степени влияет на параметры гемодинамики, поэтому он хорошо переносится самыми тяжелыми категориями пациентов [23–25]. Из за аппаратных ограничений стимулировать можно ограниченное число мышц, поэтому возникает либо необходимость проведения нескольких сеансов стимуляции мышц в день, как в наших предыдущих исследованиях [16, 13], либо приходится ограничиваться отдельными мышечными группами. Так, в недавней публикации ограничивались стимуляцией четырехглавых мышц, что позволило избежать снижения их мышечной массы при длительном нахождении в отделении реанимации [25]. Однако в этом же исследовании сила мышц оценивалась как глобальная мышечная сила с использованием системы оценок Совета по медицинским исследованиям для определения силы 6 групп мышц с обеих сторон тела [25]. Настоящее исследование показало, что интегральная оценка мышечного статуса может не всегда корректно оценивать влияние ЭМС на силу мышц, поскольку не выявлено ассоциации между силой разгибателей колена и силой других мышечных групп.

Действительно, в нашем исследовании различия между группами выявлены для силы мышц нижних конечностей, но не для силы сжатия кистей. В настоящее время сила сжатия кистей считается одним из скрининговых методов оценки саркопии при хронической сердечной недостаточности [26], в том числе ассоциированной с качеством жизни этих больных [27]. Данные настоящего исследования показывают, что изменения в силе других мышечных групп у больных ХСН могут быть даже более выраженными, что требует их оценки при обследовании данной категории больных. Также мы выявили некоторые различия в силе контралатеральных мышечных групп, причина которых до конца неясна и требует дальнейших исследований.

Ограничением настоящего исследования является его проведение только в одном кардиохирургическом центре, что не позволяет распространить его результаты на другие клиники. Другим ограничением является включение в анализ ретроспективных данных в двух категориях больных (больные перед кардиохирургическими операциями и больные с послеоперационными осложнениями). Однако унифицированный подход к оценке мышечного статуса позволил получить сопоставимые результаты для разных групп больных. Наконец, малочисленность группы в листе ожидания объясняется не столько дефицитом донорских органов, сколько существенным повышением эффективности пре-трансплантационного ведения пациентов.

Заключение

У больных в листе ожидания трансплантации сердца отмечается более низкие показатели силы мышц нижних конечностей по сравнению с другими категориями кардиохирургических больных: для мышц разгибателей колена на 30,1–40,2%, для мышц сгибателей колена – на 35,8–36,4%, для мышц разгибателей стопы – на 69,4–69,9%, для мышц сгибателей стопы – на 37,8–44,2%. При множественном регрессионном анализе для разгибателей колена справа выявлена ассоциация только

с контралатеральными мышцами, но не с другими мышечными группами. Полученные результаты будут способствовать разработке и оценке эффективности персонифицированных программ электростимуляции скелетных мышц у больных в листе ожидания трансплантации сердца.

Конфликт интересов

А.Н. Сумин является научным редактором журнала «Комплексные проблемы сердечно-сосудистых заболеваний». А.В. Щеглова заявляет об отсутствии конфликта интересов. Д.П. Голубовская заявляет об отсутствии конфликта интересов. Я.И. Брюханов заявляет об отсутствии конфликта интересов. Д.Н. Федорова заявляет об отсутствии конфликта интересов. М.И. Аньчкова заявляет об отсутствии конфликта интересов. Т.Б. Печерина заявляет об отсутствии конфликта интересов.

Финансирование

Исследование выполнено при поддержке гранта Российского научного фонда № 25-15-20054 «Методика физической реабилитации в виде пассивных физических тренировок с использованием электромиостимуляции у пациентов с тяжелой сердечной недостаточностью из листа ожидания на ортотопическую трансплантацию сердца».

Информация об авторах

Сумин Алексей Николаевич, доктор медицинских наук, заведующий лабораторией коморбидности при сердечно-сосудистых заболеваниях отдела клинической кардиологии федерального государственного бюджетного научного учреждения «Научно-исследовательский институт комплексных проблем сердечно-сосудистых заболеваний», Кемерово, Российская Федерация; **ORCID** 0000-0002-0963-4793

Щеглова Анна Викторовна, кандидат медицинских наук, старший научный сотрудник лаборатории коморбидности при сердечно-сосудистых заболеваниях отдела клинической кардиологии федерального государственного бюджетного научного учреждения «Научно-исследовательский институт комплексных проблем сердечно-сосудистых заболеваний», Кемерово, Российская Федерация; **ORCID** 0000-0002-4108-164X

Голубовская Дарья Петровна, кандидат медицинских наук, младший научный сотрудник лаборатории фиброгенеза миокарда отдела хирургии сердца и сосудов федерального государственного бюджетного научного учреждения «Научно-исследовательский институт комплексных проблем сердечно-сосудистых заболеваний», Кемерово, Российская Федерация; **ORCID** 0000-0002-3922-009X

Брюханов Ярослав Игоревич, специалист по клиническим исследованиям отдела организации инновационных и клинических исследований, лаборант-исследователь лаборатории патологии миокарда и трансплантации сердца отдела хирургии сердца и сосудов федерального государственного бюджетного научного учреждения «Научно-исследовательский институт комплексных проблем сердечно-сосудистых заболеваний», Кемерово, Российская Федерация; **ORCID** 0000-0002-1573-538X

Author Information Form

Sumin Alexey N., PhD, MD, Head of the Laboratory of Comorbidity in Cardiovascular Diseases, Department of Clinical Cardiology, Federal State Budgetary Institution “Research Institute for Complex Issues of Cardiovascular Diseases”, Kemerovo, Russian Federation; **ORCID** 0000-0002-0963-4793

Shcheglova Anna V., PhD, MD, Senior Researcher, Laboratory of Comorbidity in Cardiovascular Diseases, Department of Clinical Cardiology, Federal State Budgetary Institution “Research Institute for Complex Issues of Cardiovascular Diseases”, Kemerovo, Russian Federation; **ORCID** 0000-0002-4108-164X

Golubovskaya Darya P., PhD, MD, Junior Researcher, Myocardial Fibrogenesis Laboratory, Department of Heart and Vascular Surgery, Federal State Budgetary Institution “Research Institute for Complex Issues of Cardiovascular Diseases”, Kemerovo, Russian Federation; **ORCID** 0000-0002-3922-009X

Bryukhanov Yaroslav I., Clinical Research Specialist, Department of Innovative and Clinical Research, Research Lab Assistant, Myocardial Pathology and Heart Transplantation Laboratory, Department of Heart and Vascular Surgery, Federal State Budgetary Institution “Research Institute for Complex Issues of Cardiovascular Diseases”, Kemerovo, Russian Federation; **ORCID** 0000-0002-1573-538X

Федорова Дарина Николаевна, лаборант лаборатории коморбидности при сердечно-сосудистых заболеваниях отдела клинической кардиологии федерального государственного бюджетного научного учреждения «Научно-исследовательский институт комплексных проблем сердечно-сосудистых заболеваний», Кемерово, Российская Федерация; **ORCID** 0000-0002-0308-8760

Аньчкова Мария Ивановна, лаборант лаборатории коморбидности при сердечно-сосудистых заболеваниях отдела клинической кардиологии федерального государственного бюджетного научного учреждения «Научно-исследовательский институт комплексных проблем сердечно-сосудистых заболеваний», Кемерово, Российская Федерация; **ORCID** 0000-0001-7975-2173

Печерина Тамара Борзалиевна, доктор медицинских наук главный врач федерального государственного бюджетного научного учреждения «Научно-исследовательский институт комплексных проблем сердечно-сосудистых заболеваний», Кемерово, Российская Федерация; **ORCID** 0000-0002-4771-484X

Fedorova Darina N., Laboratory Assistant, Cardiovascular Comorbidity Laboratory, Department of Clinical Cardiology, Federal State Budgetary Institution “Research Institute for Complex Issues of Cardiovascular Diseases”, Kemerovo, Russian Federation; **ORCID** 0000-0002-0308-8760

Anchkova Maria I., Laboratory Assistant, Laboratory of Comorbidity in Cardiovascular Diseases, Department of Clinical Cardiology, Federal State Budgetary Institution “Research Institute for Complex Issues of Cardiovascular Diseases”, Kemerovo, Russian Federation; **ORCID** 0000-0001-7975-2173

Pecherina Tamara B., PhD, MD, Chief Physician, Federal State Budgetary Institution “Research Institute for Complex Issues of Cardiovascular Diseases”, Kemerovo, Russian Federation; **ORCID** 0000-0002-4771-484X

Вклад авторов в статью

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

ЩАВ – вклад в концепцию исследования, анализ данных исследования, корректировка статьи, утверждение окончательной версии для публикации, полная ответственность за содержание

ГДП – вклад в концепцию и дизайн исследования, получение и интерпретация данных исследования, корректировка статьи, утверждение окончательной версии для публикации, полная ответственность за содержание

БЯИ – вклад в концепцию и дизайн исследования, получение и интерпретация данных исследования, корректировка статьи, утверждение окончательной версии для публикации, полная ответственность за содержание

ФДН – получение и интерпретация данных исследования, корректировка статьи, утверждение окончательной версии для публикации, полная ответственность за содержание

АМИ – вклад в концепцию и дизайн исследования, получение и интерпретация данных исследования, корректировка статьи, утверждение окончательной версии для публикации, полная ответственность за содержание

ПТБ – вклад в концепцию и дизайн исследования, корректировка статьи, утверждение окончательной версии для публикации, полная ответственность за содержание

Author Contribution Statement

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

ShAV – contribution to the concept of the study, data analysis, editing, approval of the final version, fully responsible for the content

GDP – contribution to the concept and design of the study, data collection and interpretation, editing, approval of the final version, fully responsible for the content

BYaI – contribution to the concept and design of the study, data collection and interpretation, editing, approval of the final version, fully responsible for the content

FDN – contribution to the concept and design of the study, data collection and interpretation, editing, approval of the final version, fully responsible for the content

AMI – contribution to the concept and design of the study, data collection and interpretation, editing, approval of the final version, fully responsible for the content

PTB – contribution to the concept and design of the study, editing, approval of the final version, fully responsible for the content

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Chambers DC, Perch M, Zuckermann A, Cherikh WS, Harhay MO, Hayes D, Jr, et al. The International Thoracic Organ Transplant Registry of the International Society for Heart and Lung Transplantation: Thirty-Eighth Adult Lung Transplantation Report – 2021; Focus on Recipient Characteristics. *J Heart Lung Transpl*. 2021; 40:1060–72. doi: 10.1016/j.healun.2021.07.021

2. Simonenko M, Hansen D, Niebauer J, Volterrani M, Adamopoulos S, Amarelli C, Ambrosetti M, Anker SD, Bayes-Genis A, Ben Gal T, Bowen TS, Cacciatore F, Caminiti G, Cavarretta E, Chioncel O, Coats AJS, Cohen-Solal A, D'Ascenzi F, de Pablo Zarzosa C, Gevaert AB, Gustafsson F, Kempes H, Hill L, Jaarsma T, Jankowska E, Joyce E, Krankel N, Lainscak M, Lund LH, Moura B, Nytrøen K, Osto E, Piepoli M, Potena L, Rakisheva A, Rosano G, Savarese G, Seferovic PM, Thompson DR, Thum T, Van Craenenbroeck EM. Prevention and Rehabilitation After

Heart Transplantation: A Clinical Consensus Statement of the European Association of Preventive Cardiology, Heart Failure Association of the ESC, and the European Cardio Thoracic Transplant Association, a Section of ESOT. *Transpl Int*. 2024 Jun 19; 37:13191. doi:10.3389/ti.2024.13191.

3. Fernandes LCBC, de Oliveira IM, Fernandes PFCBC, de Souza Neto JD, Farias MDSQ, de Freitas NA, Magalhães NC, Bacal F. Impact of Heart Transplantation on the Recovery of Peripheral and Respiratory Muscle Mass and Strength in Patients With Chronic Heart Failure. *Transplant Direct*. 2018 Oct 1;4(11):e395. doi:10.1097/TXD.0000000000000837.

4. Vest AR, Wong WW, Chery J, Coston A, Telfer L, Lawrence M, Celkupa D, Kiernan MS, Couper G, Kawabori M, Saltzman E. Skeletal Muscle Mass Recovery Early After Left Ventricular Assist Device Implantation in Patients With Advanced Systolic Heart

Failure. *Circ Heart Fail*. 2022 May;15(5):e009012. doi:10.1161/CIRCHEARTFAILURE.121.009012

5. Tucker WJ, Beaudry RI, Samuel TJ, Nelson MD, Halle M, Baggish AL, Haykowsky MJ. Performance Limitations in Heart Transplant Recipients. *Exerc Sport Sci Rev*. 2018 Jul;46(3):144-151. doi:10.1249/JES.000000000000149.

6. Yoo TK, Miyashita S, Stein A, Wu M, Read-Button LP, Kawabori M, Couper GS, Saltzman E, Vest AR. Malnutrition risk, weight loss, and subsequent survival in patients listed for heart transplantation. *JHLT Open*. 2024 Oct 10; 7:100162. doi:10.1016/j.jhlto.2024.100162.

7. Roehrich L, Suendermann SH, Just IA, Kopp Fernandes L, Schnettler J, Kelle S, Solowjowa N, Stein J, Hummel M, Knierim J, Potapov E, Knosalla C, Falk V, Schoenrath F. Impact of Muscle Mass as a Prognostic Factor for Failed Waiting Time Prior to Heart Transplantation. *Front Cardiovasc Med*. 2021 Oct 18; 8:731293. doi:10.3389/fcvm.2021.731293.

8. Галявич А.С., Терещенко С.Н., Ускач Т.М., Агеев Ф.Т., Аронов Д.М., и др. Хроническая сердечная недостаточность. Клиническая рекомендация 2024. Российский кардиологический журнал. 2024;29(11):6162 doi:10.15829/1560-4071-2024-6162.] doi:10.15829/1560-4071-2024-6162

9. Poty A, Krim F, Lopes P, Garaud Y, Leprêtre PM. Benefits of a Supervised Ambulatory Outpatient Program in a Cardiovascular Rehabilitation Unit Prior to a Heart Transplant: A Case Study. *Front Cardiovasc Med*. 2022 May 19; 9:811458. doi:10.3389/fcvm.2022.811458.

10. Appiani F, Abara B, Ramirez I, Andrade C, Melo J, Barra F, Verdugo FJ, Rossel V, Lim J, Donoso E, Arrué U, Riquelme MP. Multimodal Inpatient Prehabilitation Prior to Heart or Lung Transplantation in a Latin American Transplant Reference Center. *Transplant Proc*. 2025 Mar;57(2):348-354. doi: 10.1016/j.transproceed.2024.11.034.

11. Machfer A, Ammar A, Ceylan Hİ, Zghal F, Daab W, Amor HH, Chtourou H, Muntean RI, Bouzid MA. Neuromuscular Electrical Stimulation During Hemodialysis Enhances Exercise Capacity in Patients with End-Stage Renal Disease: A Pilot Randomized Controlled Trial. *J Clin Med*. 2025 Oct 30;14(21):7702. doi:10.3390/jcm14217702.

12. Сумин А.Н. Локальные физические тренировки с применением электростимуляции скелетных мышц у больных ХСН. Журнал сердечная недостаточность. 2009. Т. 10. № 1 (51). С. 37-42

13. Sumin A.N.; Oleinik, P.A.; Bezdenezhnykh, A.V.; Bezdenezhnykh, N.A. Prehabilitation in Cardiovascular Surgery: The Effect of Neuromuscular Electrical Stimulation (Randomized Clinical Trial). *Int. J. Environ. Res. Public Health* 2023, 20, 2678. <https://doi.org/10.3390/ijerph20032678>

14. Lang RM, Badano LP, Mor-Avi V, Afilalo J, Armstrong A, Ernande L, Flachskampf FA, Foster E, Goldstein SA, Kuznetsova T, Lancellotti P, Muraru D, Picard MH, Rietzschel ER, Rudski L, Spencer KT, Tsang W, Voigt JU. Recommendations for cardiac chamber quantification by echocardiography in adults: an update from the American Society of Echocardiography and the European Association of Cardiovascular Imaging. *J Am Soc Echocardiogr*. 2015 Jan;28(1):1-39. e14. doi: 10.1016/j.echo.2014.10.003.

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

16. Sumin AN, Oleinik PA, Bezdenezhnykh AV, Ivanova AV. Neuromuscular electrical stimulation in early rehabilitation of patients with postoperative complications after cardiovascular surgery: A randomized controlled trial. *Medicine (Baltimore)*. 2020 Oct 16;99(42):e22769. doi:10.1097/MD.00000000000022769.

17. Безденежных А.В., Сумин А.Н. Саркопения: распространенность, выявление и клиническое значение. Клиническая медицина. 2012;90(10):16-23.

18. Villacorta H. Heart Failure and Sarcopenia: What is in between? *Arq Bras Cardiol*. 2023 Nov;120(10):e20230689. doi:10.36660/abc.20230689.

19. Lena A, Anker MS, Springer J. Muscle wasting and sarcopenia in heart failure—The current state of science. *Int J Mol Sci* 2020; 21:6549. doi:10.3390/ijms21186549.

20. Лелявина Т.А., Ситникова М.Ю., Галенко В. Л., Козлов П.С., Борцова М.А., Демченко Е.А., Ганенко О.С., Головкин А.С., Костарева А.А., Дмитриева Р.И. Роль мышечной ткани в патогенезе хронической сердечной недостаточности – возможности воздействия (исследование «ФОРМА»). Российский кардиологический журнал. 2019;24(10):58–65 doi:10.15829/1560-4071-2019-10-58-65doi:10.15829/1560-4071-2019-10-58-65

21. Gallagher H, Hendrickse PW, Pereira MG, Bowen TS. Skeletal muscle atrophy, regeneration, and dysfunction in heart failure: Impact of exercise training. *J Sport Health Sci*. 2023 Sep;12(5):557-567. doi: 10.1016/j.jshs.2023.04.001

22. Галенко В.Л., Лелявина Т.А., Ситникова М.Ю., Юкина Г.Ю., Борцова М.А., Дмитриева Р.И. Влияние аэробных физических тренировок на состояние мышечной ткани у пациентов с тяжелой сердечной недостаточностью и нормальной массой тела. Российский кардиологический журнал. 2020;25(6):3670. doi:10.15829/1560-4071-2020-3670

23. Zhu Y, Hu C, Yang L, Zhang X, Shen H. Comparative effectiveness of non-pharmacological interventions on the prognosis of critically ill patients: A systematic review and network meta-analysis. *Int J Nurs Stud*. 2025 Dec; 172:105218. doi: 10.1016/j.ijnurstu.2025.105218.

24. Kosaka H, Ikezoe T, Hase K, Kimura Y, Miyauchi T, Lai TT, Van Nguyen K, Inoue K, Takada M, Matsushima H, Kiguchi G, Yamamoto H, Matsui K, Taketani M, Shirai T, Kaibori M. Pilot Study to Assess the Ability of a 4-Week, Home-Based, Electrical Muscle Stimulation Program to Improve Lower Extremity Function and Reduce Sarcopenia in Older Individuals with Cancer. *Arch Rehabil Res Clin Transl*. 2025 Jun 1;7(3):100479. doi: 10.1016/j.arrct.2025.100479.

25. Lorenzoni BS, Machado MT, Carvalho MTX, Albuquerque JPM, Biermann Pereira H, Bortoluzi RB, Cardoso DM, Saccol MF, Santos TDD, Albuquerque IM. Early Neuromuscular Electrical Stimulation and In-Bed Leg Cycling Preserve Quadriceps Femoris Muscle Thickness in Critically Ill Patients. *Physiother Res Int*. 2025 Oct;30(4):e70113. doi: 10.1002/pri.70113.

26. Santos JD. Handgrip strength in Heart Failure: The "stethoscope" of the muscle? *Rev Port Cardiol*. 2025 Dec 16:S0870-2551(25)00389-0. doi: 10.1016/j.repc.2025.12.003. Epub ahead of print.

27. Silva LP, Silva L, Neves I, Soares I, Moura R, Lucas D, Pereira C, Gregório T, Pimenta J, Mascarenhas J. Association between sarcopenia and quality of life in patients with heart failure. *Rev Port Cardiol*. 2025 Dec 8:S0870-2551(25)00382-8. doi: 10.1016/j.repc.2025.09.008. Epub ahead of print.

REFERENCES

1. Chambers DC, Perch M, Zuckermann A, Cherikh WS, Harhay MO, Hayes D, Jr, et al. The International Thoracic Organ Transplant Registry of the International Society for Heart and Lung Transplantation: Thirty-Eighth Adult Lung Transplantation Report – 2021; Focus on Recipient Characteristics. *J Heart Lung Transpl*. 2021; 40:1060–72. doi: 10.1016/j.healun.2021.07.021

2. Simonenko M, Hansen D, Niebauer J, Volterrani M, Adamopoulos S, Amarelli C, Ambrosetti M, Anker SD, Bayes-Genis A, Ben Gal T, Bowen TS, Cacciatore F, Caminiti G, Cavarretta E, Chioncel O, Coats AJS, Cohen-Solal A, D'Ascenzi F, de Pablo Zarzosa C, Gevaert AB, Gustafsson F, Kempes H, Hill L,

Jaarsma T, Jankowska E, Joyce E, Krankel N, Lainscak M, Lund LH, Moura B, Nytrøen K, Osto E, Piepoli M, Potena L, Rakisheva A, Rosano G, Savarese G, Seferovic PM, Thompson DR, Thum T, Van Craenenbroeck EM. Prevention and Rehabilitation After Heart Transplantation: A Clinical Consensus Statement of the European Association of Preventive Cardiology, Heart Failure Association of the ESC, and the European Cardio Thoracic Transplant Association, a Section of ESOT. *Transpl Int*. 2024 Jun 19; 37:13191. doi:10.3389/ti.2024.13191.

3. Fernandes LCBC, de Oliveira IM, Fernandes PFCBC, de Souza Neto JD, Farias MDSQ, de Freitas NA, Magalhães NC, Bacal

- F. Impact of Heart Transplantation on the Recovery of Peripheral and Respiratory Muscle Mass and Strength in Patients With Chronic Heart Failure. *Transplant Direct*. 2018 Oct 1;4(11):e395. doi:10.1097/TXD.0000000000000837.
4. Vest AR, Wong WW, Chery J, Coston A, Telfer L, Lawrence M, Celkupa D, Kiernan MS, Couper G, Kawabori M, Saltzman E. Skeletal Muscle Mass Recovery Early After Left Ventricular Assist Device Implantation in Patients With Advanced Systolic Heart Failure. *Circ Heart Fail*. 2022 May;15(5):e009012. doi:10.1161/CIRCHEARTFAILURE.121.009012
5. Tucker WJ, Beaudry RI, Samuel TJ, Nelson MD, Halle M, Baggish AL, Haykowsky MJ. Performance Limitations in Heart Transplant Recipients. *Exerc Sport Sci Rev*. 2018 Jul;46(3):144-151. doi:10.1249/JES.0000000000000149.
6. Yoo TK, Miyashita S, Stein A, Wu M, Read-Button LP, Kawabori M, Couper GS, Saltzman E, Vest AR. Malnutrition risk, weight loss, and subsequent survival in patients listed for heart transplantation. *JHLT Open*. 2024 Oct 10; 7:100162. doi:10.1016/j.jhlto.2024.100162.
7. Roehrich L, Suendermann SH, Just IA, Kopp Fernandes L, Schnettler J, Kelle S, Solowjowa N, Stein J, Hummel M, Knierim J, Potapov E, Knosalla C, Falk V, Schoenrath F. Impact of Muscle Mass as a Prognostic Factor for Failed Waiting Time Prior to Heart Transplantation. *Front Cardiovasc Med*. 2021 Oct 18; 8:731293. doi:10.3389/fcvm.2021.731293.
8. Galyavich A.S., Tereshchenko S.N., Uskach T.M., Ageev F.T., Aronov D.M., et al. 2024 Clinical practice guidelines for Chronic heart failure. *Russian Journal of Cardiology*. 2024;29(11):6162. (In Russ.) doi:10.15829/1560-4071-2024-6162.] doi:10.15829/1560-4071-2024-6162
9. Poty A, Krim F, Lopes P, Garaud Y, Leprêtre PM. Benefits of a Supervised Ambulatory Outpatient Program in a Cardiovascular Rehabilitation Unit Prior to a Heart Transplant: A Case Study. *Front Cardiovasc Med*. 2022 May 19; 9:811458. doi:10.3389/fcvm.2022.811458.
10. Appiani F, Abara B, Ramirez I, Andrade C, Melo J, Barra F, Verdugo FJ, Rossel V, Lim J, Donoso E, Arrué U, Riquelme MP. Multimodal Inpatient Prehabilitation Prior to Heart or Lung Transplantation in a Latin American Transplant Reference Center. *Transplant Proc*. 2025 Mar;57(2):348-354. doi: 10.1016/j.transproceed.2024.11.034.
11. Machfer A, Ammar A, Ceylan Hİ, Zghal F, Daab W, Amor HH, Chtourou H, Muntean RI, Bouzid MA. Neuromuscular Electrical Stimulation During Hemodialysis Enhances Exercise Capacity in Patients with End-Stage Renal Disease: A Pilot Randomized Controlled Trial. *J Clin Med*. 2025 Oct 30;14(21):7702. doi:10.3390/jcm14217702.
12. Sumin A.N. Lokal'nye fizicheskie trenirovki s primeneniem elektrostimulyatsii skeletnykh myshts u bol'nykh KHN. *Zhurnal serdechnaya nedostatochnost'*. 2009. T. 10. № 1 (51). S. 37-42. (In Russ).
13. Sumin A.N.; Oleinik, P.A.; Bezdenezhnykh, A.V.; Bezdenezhnykh, N.A. Prehabilitation in Cardiovascular Surgery: The Effect of Neuromuscular Electrical Stimulation (Randomized Clinical Trial). *Int. J. Environ. Res. Public Health* 2023, 20, 2678. <https://doi.org/10.3390/ijerph20032678>
14. Lang RM, Badano LP, Mor-Avi V, Afilalo J, Armstrong A, Ernande L, Flachskampf FA, Foster E, Goldstein SA, Kuznetsova T, Lancellotti P, Muraru D, Picard MH, Rietzschel ER, Rudski L, Spencer KT, Tsang W, Voigt JU. Recommendations for cardiac chamber quantification by echocardiography in adults: an update from the American Society of Echocardiography and the European Association of Cardiovascular Imaging. *J Am Soc Echocardiogr*. 2015 Jan;28(1):1-39. e14. doi: 10.1016/j.echo.2014.10.003.
15. Sumin A.N., Oleinik P.A., Bezdenezhnykh A.V. 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. (In Russ.) doi:10.17802/2306-1278-2019-8-4S-70-81
16. Sumin AN, Oleinik PA, Bezdenezhnykh AV, Ivanova AV. Neuromuscular electrical stimulation in early rehabilitation of patients with postoperative complications after cardiovascular surgery: A randomized controlled trial. *Medicine (Baltimore)*. 2020 Oct 16;99(42):e22769. doi:10.1097/MD.00000000000022769.
17. Bezdenezhnykh A.V., Sumin A.N. Sarkopeniya: rasprostranennost', vyyavlenie i klinicheskoe znachenie. *Klinicheskaya meditsina*. 2012. T. 90. № 10. S. 16-23. (In Russ)
18. Villacorta H. Heart Failure and Sarcopenia: What is in between? *Arq Bras Cardiol*. 2023 Nov;120(10):e20230689. doi:10.36660/abc.20230689.
19. Lena A, Anker MS, Springer J. Muscle wasting and sarcopenia in heart failure—The current state of science. *Int J Mol Sci* 2020; 21:6549. doi:10.3390/ijms21186549.
20. Lelyavina T.A., Sitnikova M.Yu., Galenko V.L., Kozlov P.S., Bortsova M.A., Demchenko E.A., Ganenko O.S., Golovkin A.S., Kostareva A.A., Dmitrieva R.I. The role of muscle tissue in the pathogenesis of chronic heart failure – the potential of exposure (FORMA study). *Russian Journal of Cardiology*. 2019;24(10):58–65 (In Russ) doi:10.15829/1560-4071-2019-10-58-65
21. Gallagher H, Hendrickse PW, Pereira MG, Bowen TS. Skeletal muscle atrophy, regeneration, and dysfunction in heart failure: Impact of exercise training. *J Sport Health Sci*. 2023 Sep;12(5):557-567. doi: 10.1016/j.jshs.2023.04.001
22. Galenko V.L., Lelyavina T.A., Sitnikova M.Yu., Yukina G.Yu., Bortsova M.A., Dmitrieva R.I. The effect of aerobic exercise on muscle tissue in patients with severe heart failure and normal body weight. *Russian Journal of Cardiology*. 2020;25(6):3670. (In Russ.) doi:10.15829/1560-4071-2020-3670
23. Zhu Y, Hu C, Yang L, Zhang X, Shen H. Comparative effectiveness of non-pharmacological interventions on the prognosis of critically ill patients: A systematic review and network meta-analysis. *Int J Nurs Stud*. 2025 Dec; 172:105218. doi: 10.1016/j.ijnurstu.2025.105218.
24. Kosaka H, Ikezoe T, Hase K, Kimura Y, Miyauchi T, Lai TT, Van Nguyen K, Inoue K, Takada M, Matsushima H, Kiguchi G, Yamamoto H, Matsui K, Taketani M, Shirai T, Kaibori M. Pilot Study to Assess the Ability of a 4-Week, Home-Based, Electrical Muscle Stimulation Program to Improve Lower Extremity Function and Reduce Sarcopenia in Older Individuals with Cancer. *Arch Rehabil Res Clin Transl*. 2025 Jun 1;7(3):100479. doi: 10.1016/j.arrct.2025.100479.
25. Lorenzoni BS, Machado MT, Carvalho MTX, Albuquerque JPM, Biermann Pereira H, Bortoluzzi RB, Cardoso DM, Saccol MF, Santos TDD, Albuquerque IM. Early Neuromuscular Electrical Stimulation and In-Bed Leg Cycling Preserve Quadriceps Femoris Muscle Thickness in Critically Ill Patients. *Physiother Res Int*. 2025 Oct;30(4):e70113. doi: 10.1002/pri.70113.
26. Santos JD. Handgrip strength in Heart Failure: The "stethoscope" of the muscle? *Rev Port Cardiol*. 2025 Dec 16:S0870-2551(25)00389-0. doi: 10.1016/j.repc.2025.12.003. Epub ahead of print.
27. Silva LP, Silva L, Neves I, Soares I, Moura R, Lucas D, Pereira C, Gregório T, Pimenta J, Mascarenhas J. Association between sarcopenia and quality of life in patients with heart failure. *Rev Port Cardiol*. 2025 Dec 8:S0870-2551(25)00382-8. doi: 10.1016/j.repc.2025.09.008. Epub ahead of print.

Для цитирования: Сумин А.Н., Щеглова А.В., Голубовская Д.П., Брюханов Я.И., Федорова Д.Н., Аньчкова М.И., Печерина Т.Б. Фенотип мышечного статуса у больных в листе ожидания трансплантации сердца. *Комплексные проблемы сердечно-сосудистых заболеваний*. 2025;14(6S): 60-71. DOI: 10.17802/2306-1278-2025-14-6S-60-71

To cite: Sumin A.N., Shcheglova A.V., Golubovskaya D.P., Bryukhanov Ya.I., Fedorova D.N., Anchkova M.I., Pecherina T.B. *Muscle status phenotype in patients on the waiting list for cardiac transplantation. Complex Issues of Cardiovascular Diseases*. 2025;14(6S): 60-71. DOI: 10.17802/2306-1278-2025-14-6S-60-71