

ISSN 2782-3806
 ISSN 2782-3814 (Online)
 УДК

СИЛОВЫЕ ТРЕНИРОВКИ В РЕАБИЛИТАЦИИ ДЕТЕЙ ПОСЛЕ КОРРЕКЦИИ ВРОЖДЕННОГО ПОРОКА СЕРДЦА

Помешкина С. А., Алферова Л. С., Яковлева Е. В., Васичкина Е. С., Демченко Е. А.

Федеральное государственное бюджетное учреждение «Национальный медицинский исследовательский центр имени В. А. Алмазова» Министерства здравоохранения Российской Федерации, Санкт-Петербург, Россия

Контактная информация:

Помешкина Светлана Александровна,
 ФГБУ «НМИЦ им. В.А. Алмазова»
 Минздрава России,
 ул. Аккуратова, д. 2, Санкт-Петербург,
 Россия, 197341.
 E-mail: poveshkina_sa@almazovcentre.ru

Статья поступила в редакцию 20.11.2024
 и принята к печати 13.12.2024

РЕЗЮМЕ

Актуальность. На сегодняшний день нет четких рекомендаций по физической реабилитации детей с врожденными пороками сердца (ВПС) после хирургической коррекции. До недавнего времени основное внимание уделялось аэробной динамической физической нагрузке на выносливость у пациентов с ВПС, с интенсивностью, определяемой по пиковому потреблению кислорода ($V' O_2 \text{peak}$). Важность силовых тренировок, направленных на укрепление опорно-двигательного аппарата, была изучена меньше и часто упускалась из виду несмотря на то, что величина мышечной силы, определяемой с помощью кистевого динамометра, является предиктором тяжести заболевания у пациентов с ВПС. **Цель.** Оценить эффективность и безопасность силовых тренировок в комплексной программе реабилитации детей после радикального лечения врожденных пороков сердца. **Материалы и методы.** У всех пациентов был проанализирован клинический статус, выполнены физикальное обследование, эхокардиография (ЭхоКГ), суточное мониторирование электрокардиограммы (СМЭКГ), кардиопульмональное нагрузочное тестирование с физической нагрузкой, сила хвата обеих рук измерялась с помощью кистевого динамометра, силу мышц, выпрямляющих туловище, определяли с помощью становового динамометра. Все участники были рандомизированы на две группы. В первую (контрольную) — вошли пациенты, которым через 3 месяца после радикальной коррекции ВПС проводилась ранняя физическая реабилитация исключительно в виде аэробных динамических тренировок. Вторую (основную) группу составили пациенты, которым рекомендовалась комбинированная тренировка — аэробная динамическая нагрузка с силовыми упражнениями с отягощением, индивидуально подобранным на основе кистевой динамометрии. Все измерения собирались в начале программы и после ее завершения. **Результаты.** При анализе мышечной силы, оцененной с помощью кистевого динамометра, оказалось, что у 36 (94,7 %) детей отмечается

снижение силового индекса. Межгрупповые различия по выраженности силы мышц отсутствовали в сравниваемых группах. У пациентов с ВПС после 2 недель стационарной реабилитации и 12 недель амбулаторной, когда использовалась комбинация аэробных динамических нагрузок с силовыми тренировками с индивидуально рассчитанным для каждого ребенка отягощением, было зафиксировано более выраженное увеличение силы сжатия кисти ($p = 0,03$) и силы мышц туловища ($p = 0,04$), оцененных с помощью функционального тестирования. При сравнении данных спирометрии у детей, которые занимались комбинированными физическими тренировками, отмечалась более высокая работоспособность, чем у детей, не выполнивших силовые тренировки. Кроме того, они продемонстрировали более высокие показатели переносимой мощности при физической нагрузке. **Заключение.** Использование в течение 2 недель стационарной и 12 недель амбулаторной реабилитации комбинированных аэробных динамических нагрузок с силовыми тренировками с индивидуально рассчитанным отягощением не только привело к более выраженному увеличению мышечной силы, оцененной с помощью функционального тестирования, но и повысило физическую работоспособность детей с корригированными врожденными пороками сердца в сравнении с детьми, выполнявшими только динамические аэробные нагрузки.

Ключевые слова: врожденный порок сердца, динамические аэробные тренировки, кистевая динамометрия, радикальное хирургическое лечение, силовые тренировки, становая проба, физическая реабилитация

Для цитирования: Помешкина С.А., Алферова Л.С., Яковлева Е.В. и др. Силовые тренировки в реабилитации детей после коррекции врожденного порока сердца. Российский журнал персонализированной медицины. 2025;5(1):???. DOI: 10.18705/2782-3806-2025-5-1-???. EDN:

STRENGTH TRAINING IN REHABILITATION OF CHILDREN AFTER CORRECTION OF CONGENITAL HEART DISEASE

**Pomeshkina S. A., Alferova L. S., Yakovleva E. V., Vasichkina E. S.,
Demchenko E. A.**

Almazov National Medical Research Centre, Saint Petersburg, Russia

Corresponding author:

Pomeshkina Svetlana A.,
Almazov National Medical Research Centre,
Akkuratova str., 2, Saint Petersburg, Russia,
197341.
E-mail: poveshkina_sa@almazovcentre.ru

Received 20 November 2024; accepted
13 December 2024

ABSTRACT

Background. To date, there are no clear recommendations for the physical rehabilitation of children with congenital heart defects (CHD) after surgical correction. Until recently, the focus was on aerobic dynamic endurance exercise in patients with CHD, with intensity determined by peak oxygen consumption ($\text{VO}_{2\text{peak}}$). The importance of strength training aimed at strengthening the musculoskeletal system has been less studied and is often overlooked, despite the fact that the amount of muscle strength determined using a wrist dynamometer is a predictor of the severity of the disease in patients with CHD. **Objective.** To evaluate the effectiveness and safety of strength training in a comprehensive rehabilitation program for children after radical treatment of congenital heart defects. **Materials and methods.** The clinical status of all patients was analyzed, physical examination, echocardiography (EchoCG), daily monitoring of the electrocardiogram (SMECG), cardiopulmonary exercise testing were performed, grip strength of both hands was measured using a wrist dynamometer, the strength of the muscles straightening the trunk was determined using a standing dynamometer. All participants were randomized into two groups. The first (control) group included patients who underwent early physical rehabilitation 3 months after the radical correction of CHD, which consisted of using only aerobic dynamic physical training. The second (main) group consisted of patients who were recommended a combined workout — aerobic dynamic load with strength exercises with weights, individually selected on the basis of wrist dynamometry. All measurements were collected at the beginning of the program and after its completion. **Results.** When analyzing the muscle strength estimated using a wrist dynamometer, it turned out that 36 (94.7 %) children showed a decrease in the strength index. There were no intergroup differences in the severity of muscle strength in the compared groups. In patients with CHD, the use of inpatient rehabilitation for 2 weeks and outpatient rehabilitation for 12 weeks, a combination of aerobic dynamic loads with strength training with weights individually calculated for each child led to a more pronounced increase in hand compression strength ($p = 0.03$) and trunk muscle strength ($p = 0.04$), estimated using functional testing. When comparing the spiroveloergometry data, children who were engaged in combined physical training showed higher performance compared to children who did not perform strength training. In addition, they demonstrated higher levels of transferable power during physical exertion. **Conclusion.** The use of combined aerobic dynamic loads with strength training with individually calculated weights during two weeks of inpatient and twelve weeks of outpatient rehabilitation led to a more pronounced increase not only in muscle strength, estimated using functional testing, but also increased the physical performance of children with corrected congenital heart defects in comparison with children who performed only dynamic aerobic loads.

Key words: congenital heart disease, dynamic aerobic training, physical rehabilitation, radical surgical treatment, standing test, strength training, wrist dynamometry

For citation: Pomeshkina SA, Alferova LS, Yakovleva EV, et al. Strength training in rehabilitation of children after correction of congenital heart disease. Russian Journal for Personalized Medicine. 2025; 5(1):???. (In Russ.) DOI: 10.18705/2782-3806-2025-5-1-???. EDN:

ВВЕДЕНИЕ

За последнее десятилетие достижения в медикаментозном и хирургическом лечении пациентов с врожденными пороками сердца (ВПС) значительно увеличили ожидаемую продолжительность их жизни, и предполагается, что большинство детей с ВПС достигнут взрослого возраста без каких-либо серьезных физических нарушений [1]. Однако большинство детей с ВПС недостаточно физически активны и имеют низкую физическую работоспособность [2]. Причина снижения физической работоспособности детей с ВПС многофакторная и включает как внешние факторы, а именно: опасения заниматься физическими нагрузками из-за ограничений со стороны врачей, родителей, так и внутренние, в виде гемодинамических ограничений, обусловленных самим ВПС. В результате малоподвижного образа жизни не только снижается физическая работоспособность, но и могут развиться ожирение и артериальная гипертония, которые, в свою очередь, способствуют малоподвижному образу жизни с закономерным снижением толерантности к физическим нагрузкам [3].

Соответственно, основы здорового образа жизни должны закладываться еще в раннем детстве, поскольку большинство активных моделей поведения сохраняются и во взрослой жизни [4]. Физические нагрузки все чаще признаются ключевым фактором в оптимизации долгосрочного здоровья пациентов с ВПС, поскольку повышают аэробную выносливость, снижают риск сердечно-сосудистых и метаболических заболеваний, улучшая отдаленный прогноз; их регулярное выполнение способствует формированию приверженности к активному образу жизни, повышает уровень самооценки, уверенности, инициативности, качества жизни и социальных навыков ребенка [5, 6].

С целью улучшения здоровья детей с ВПС все больше внимания уделяется кардиологической реабилитации. Однако на сегодняшний день нет четких рекомендаций по физической реабилитации детей с ВПС после хирургической коррекции. В 2012 году Европейская ассоциация профилактики и реабилитации сердечно-сосудистых заболеваний опубликовала гайдлайн по физической активности для детей с врожденными пороками сердца [7], основанный на рекомендациях для здоровых. Кроме того, был сделан вывод, что нет никаких доказательств необходимости ограничения физических нагрузок у пациентов с корригированными ВПС, за исключением лиц с тяжелыми нарушениями ритма. Соответственно, детские кардиологи все больше соглашаются с тем, что нет строгого

запрета для людей с корригированным ВПС вести активный образ жизни и даже заниматься определенными видами спорта [8, 9].

До недавнего времени у пациентов с ВПС основное внимание уделялось аэробной динамической физической нагрузке на выносливость с интенсивностью, определяемой по пиковому потреблению кислорода (V'_{O_2peak}). Важность силовых тренировок, направленных на укрепление опорно-двигательного аппарата, была изучена меньше и часто упускалась из виду, несмотря на то, что величина мышечной силы, определяемая с помощью кистевого динамометра, является предиктором тяжести заболевания у пациентов с ВПС [10, 11].

За последние несколько лет появились данные, демонстрирующие, что силовые упражнения представляют безопасный и эффективный метод тренировки здоровых детей [12]. Эти рекомендации являются основой для разработки и внедрения программ силовых тренировок у детей с хроническими заболеваниями, в том числе и с ВПС.

Таким образом, необходима разработка эффективной методики послеоперационной реабилитации детей с ВПС с целью повышения физической работоспособности, физической активности и повышения качества жизни.

ЦЕЛЬ ИССЛЕДОВАНИЯ: оценить эффективность и безопасность силовых тренировок в комплексной программе реабилитации детей после радикального лечения врожденных пороков сердца.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Набор детей проходил с января 2022 года по сентябрь 2024 года. В исследование было включено 38 пациентов (20 мальчиков и 18 девочек) с ВПС после радикального хирургического лечения в возрасте от 10 до 16 лет ($13,6 \pm 2,1$ года). Все пациенты имели порок средней тяжести по классификации сложности врожденных пороков сердца [13].

Все выполненные исследования с участием пациентов соответствовали этическим стандартам биоэтического комитета, разработанным в соответствии с Хельсинской декларацией Всемирной ассоциации «Этические принципы проведения научных медицинских исследований с участием человека». Протокол настоящего исследования был одобрен локальным этическим комитетом ФГБУ «Национальный медицинский исследовательский центр им. В. А. Алмазова» Минздрава России.

Основные критерии включения — возраст детей после радикальной коррекции ВПС в диапазоне

10–16 лет; наличие подписанного информированного согласия родителей на участие в исследовании их детей.

Критерии исключения — наличие состояний, не позволяющих выполнить функциональные тесты и последующие тренировки: недостаточность кровообращения выше III ФК (NYHA), стойко повышенное АД (системическое давление выше 180 мм рт. ст. или диастолическое более 120 мм рт. ст.), гипертермия, острый тромбофлебит, частая желудочковая экстрасистолия, атриовентрикулярная блокада II и III степеней, стойкая синусовая тахикардия (более 120 уд/мин.), заболевания легких с выраженной дыхательной недостаточностью, тяжелый сколиоз, влияющий на функцию легких, нервно-мышечные заболевания, наличие умственных ограничений.

Всем детям не менее чем за 3 месяца до включения в исследование была выполнена радикальная хирургическая коррекция ВПС по поводу: тетрады Фалло; коарктации аорты; коарктации аорты и гипоплазии дуги аорты; неполной формы общего атриовентрикулярного канала; полной формы атриовентрикулярного канала; врожденной митральной недостаточности 3 степени; пролапса митрального клапана (в структуре синдрома Марфана); выраженного стеноза аортального клапана, недостаточности аортального клапана 2–3 степени; умеренного стеноза аортального клапана, аортальной недостаточности 2 степени; аневризмы восходящего отдела аорты; надклапанного стеноза аорты, стеноза легочной артерии; транспозиции магистральных сосудов (состояние после операции артериального переключения); двойного отхождения магистральных сосудов от правого желудочка; аномалии Эбштейна.

У всех пациентов был проанализирован клинический статус, проведено физикальное обследование с анализом индекса массы тела (ИМТ), эхокардиография (ЭхоКГ) (Philips IE 33, Нидерланды), суточное мониторирование электрокардиограммы (СМЭКГ) (система Инкарт «Кардиотехника 04», Россия). Для оценки уровня физической работоспособности все пациенты выполняли КПНТ. Для газоанализа использовали метод breath-by-breath (анализ каждого дыхательного цикла в режиме реального времени) с помощью системы Охусон Pro (Jaeger, Германия). Пациенты выполняли симптом-лимитированную, непрерывно возрастающую физическую нагрузку (ФН) — RAMP (ступенчатый)-протокол на велоэргометре с увеличением нагрузки на 10 Вт/мин. Регистрацию электрокардиограммы (ЭКГ), определение насыщения кислородом крови (SpO_2) с помощью пульсоксиметра про-

водили непрерывно в течение всего теста, уровень артериального давления (АД) измеряли каждые 2 минуты. Ответ сердечно-сосудистой и легочной систем на ФН оценивали по совокупности следующих показателей теста: пиковому потреблению кислорода (VO_{peak}), уровню анаэробного порога (VO_2 на АП), кислородному пульсу ($\text{VO}_2/\text{ЧСС}$), который является индексом ударного объема (УО), вентиляторному эквиваленту CO_2 (VE/VCO_2) — интегральному показателю, отражающему эффективность минутной вентиляции, насыщению кислородом крови, динамике ЧСС и АД. Значение $\text{VO}_{\text{peak}} \geq 85\%$ от должного значения и уровень анаэробного порога, соответствующий 40–60 % от VO_{peak} , считали нормальными. Субъективные ощущения пациента оценивали по модифицированной (10-балльной) шкале Борга.

Сила хвата обеих рук измерялась с помощью кистевого динамометра ДК-25 (ТУ 64-1-3842-84, АО «Нижнетагильский медико-инструментальный завод», Россия). Пробу проводили в положении стоя. Динамометр помещался в руку циферблатором внутрь. Рука отводилась от туловища до получения с ним прямого угла. Вторая рука была опущена вниз вдоль туловища. Пациент по команде с максимальной силой сжимал динамометр в течение 3 секунд. Выполнялось 3 попытки для каждой руки; выбиралось наибольшее из 3 значений; для дальнейшего анализа использовалась средняя сила хвата (наибольшее значение для левой руки плюс наибольшее значение для правой руки, деленное на 2), чтобы исключить эффект доминирования руки. Силовой индекс (СИ) вычислялся по формуле:

$$[\text{сила мышц кисти (кг)} / \text{масса тела (кг)}] \times 100 (\%) [14],$$

где сила мышц кисти оценивалась по результату кистевой динамометрии.

Силу мышц, выпрямляющих туловище, измеряли с помощью становового динамометра (ДС-200, Россия). Пациент становился на подставку для опора ног, обхватывал обеими руками рукоятку динамометра и тянул вверх, пытаясь выпрямиться при разогнутых в коленях нижних конечностях.

Все пациенты были рандомизированы на 2 группы. В первую (контрольную) группу вошли лица, которым через 3 месяца после радикальной коррекции ВПС проводилась ранняя физическая реабилитация: лечебная гимнастика с элементами дыхательных упражнений, аэробных динамических физических тренировок в виде дозированной ходьбы (в стационаре — на тредмиле), дозированных подъемов по лестнице.

Во вторую (основную) вошли пациенты, которым на фоне лечебной гимнастики с элементами дыхательных тренировок, индивидуально подобранный аэробной динамической нагрузки проводились еще и силовые тренировки на отдельные группы мышц низкой и средней интенсивности с отягощением, индивидуально подобранным на основе кистевой динамометрии. Интенсивность силовых упражнений составляла 30 % от максимального произвольного мышечного сокращения.

Все измерения собирались в начале программы и после ее завершения.

Дети основной группы после коррекции ВПС прошли программу стационарной реабилитации продолжительностью 2 недели и программу домашней физической реабилитации в течение 3 месяцев после выписки из стационара. Стационарный этап реабилитации состоял из 5 занятий в неделю по 40–45 минут. Основной целью представленной физической реабилитации было улучшение мышечной силы и аэробной выносливости. Каждое занятие включало силовые нагрузки, структурированный аэробный компонент (ходьба по дорожке, подъем по лестнице с индивидуально рассчитанной ЧСС) и упражнения на гибкость (разминочные растяжки).

Силовые упражнения включали действия, в которых использовался как собственный вес участника, когда не требовалось оборудование, так и с добавлением веса утяжелителя, но не более 30 % от максимального произвольного изометрического сокращения. Уровень нагрузки контролировался по клиническим показателям, по уровню воспринимаемой нагрузки с использованием шкалы Борга, по ЧСС, безопасные границы которой рассчитывались при КПНТ, по артериальному давлению, периферическому насыщению кислородом крови.

Тренировка была структурирована следующим образом:

1) фаза разминки (5 мин.) включала лечебную гимнастику с элементами дыхательных упражнений, упражнения на подвижность суставов и легкую ходьбу;

2) фаза тренировки:

2а — 15–20 минут аэробных динамических нагрузок на беговой дорожке и ходьбы по лестнице с интенсивностью по модифицированной шкале Борга 4–6 баллов с рекомендованной ЧСС;

2б — 15 минут тренировка силовой направленности; силовые упражнения состояли из двух серий по пять видов упражнений и прорабатывали в основном такие группы мышц, как дельтовидные, двуглавые, трехглавые, разгибатели туловища, четырехглавые мышцы, подколенные

сухожилия и икроножные мышцы; испытуемые выполняли по 10–12 повторений каждого упражнения с 20-секундным отдыхом; тренировка проводилась с использованием эспандеров, утяжелителей или гантелей;

3) фаза заминки (5 мин.) включала легкую ходьбу и упражнения на растяжку.

После окончания стационарного этапа реабилитации с участниками обсуждали предстоящие 12 недель с продолжением программы реабилитации в домашних условиях с частотой 3 раза в неделю по 40–45 минут в том же объеме, как и на стационарном этапе. Беговая дорожка заменена быстрой ходьбой и подъемами по лестнице.

Статистический анализ. Статистическую обработку полученных данных выполняли с использованием специализированного программного обеспечения Statistica 10.0. Для проведения аналитических расчетов были определены типы имеющихся данных. Гипотезу о нормальном распределении данных проверяли с использованием критерия Shapiro-Wilk. Распределения, отличные от нормального, описаны при помощи медианы (Me), перцентилей и интерквартильного размаха [$Q25 - Q75$]. В независимых группах применяли непараметрический критерий Mann-Whitney (U-критерий). Сравнение дискретных величин осуществляли с использованием критерия χ^2 с поправкой на непрерывность по Yeats. Различия считали статистически достоверными при значениях двустороннего $p < 0,05$.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Дети, включенные в исследование, по основным антропометрическим показателям не различались (табл. 1).

У всех пациентов была сохранная фракция выброса левого желудочка ($Me\ 70\ (66;\ 74)$ (табл. 2).

По данным ЭКГ покоя и СМЭКГ нарушений ритма и проводимости, требующих коррекции, у детей не отмечалось.

Значимых межгрупповых различий по показателям КПНТ и оценки силы мышц также не было выявлено (табл. 3).

При анализе мышечной силы, оцененной с помощью кистевого динамометра, оказалось, что у 36 (94,7 %) детей отмечалось снижение силового индекса. Межгрупповые различия по выраженности силы мышц отсутствовали в сравниваемых группах (табл. 4).

Исследование продемонстрировало, что комбинация аэробных динамических нагрузок с силовыми тренировками с индивидуально рассчитанным

Таблица 1. Клинико-анамнестическая характеристика детей после коррекции врожденного порока сердца, Me [Q25 – Q75], M±SD**Table 1. Clinical and anamnestic characteristics of children after correction of congenital heart disease, Me [Q25 – Q75], M±SD**

Показатели	Дети с силовыми тренировками, n = 19	Дети без силовых тренировок, n = 19	p
Возраст, года	13,6 ± 2,1	14,1 ± 2,4	0,78
Рост, см	152,3 [136,7; 161,3]	153,0 [139,4; 163,8]	0,64
Вес, см	45,2 [35,3; 51,1]	46,4 [35,0; 53,4]	0,37
ИМТ, кг/м ²	18,4 [15,3; 20,8]	19,4 [15,7; 22,1]	0,71
Жалобы на утомляемость, n (%)	6 (32)	5 (26)	0,42
Жалобы на боли в сердце, n (%)	1 (6)	2 (11)	0,28
Жалобы на сердцебиение, n (%)	3 (16)	2 (11)	0,67

Примечание: ИМТ — индекс массы тела.

Note: BMI — body mass index.

Таблица 2. Показатели ЭхоКГ детей с ВПС в возрасте 10–16 лет после радикальной коррекции, Me [Q25 – Q75]**Table 2. EchoCG parameters of children with CHD aged 10–16 years after radical correction, Me [Q25 – Q75]**

Показатели	Дети с силовыми тренировками, n = 19	Дети без силовых тренировок, n = 19	p
ПЖ, мм	26,5 [21,0; 33,5]	27,5 [22,4; 34,6]	0,31
ЛП, мм	34,6 [26,7; 40,9]	37,0 [28,8; 41,3]	0,19
КСР, мм	27,7 [26,2; 32,5]	29,1 [26,9; 33,6]	0,33
КСО, мл	31,5 [27,0; 39,0]	33,5 [28,0; 40,0]	0,46
КДР, мм	44,3 [39,9; 50,0]	46,5 [39,4; 48,8]	0,41
КДО, мл	81,4 [69,0; 112,1]	85,0 [68,9; 118,0]	0,24
ФВ ЛЖ по Тейхольцу, %	68,5 [64,0; 70,3]	65,0 [63,0; 67,0]	0,67
Среднее давление в ЛА, мм рт. ст.	22,7 [20,0; 24,0]	23,4 [20,0; 25,0]	0,72

Примечание: ПЖ — правый желудочек, ЛП — левое предсердие, КСР — конечный систолический размер, КСО — конечный систолический объем, КДР — конечный диастолический размер, КДО — конечный диастолический объем, ФВ ЛЖ — фракция выброса левого желудочка, ЛА — легочная артерия.

Note: RV is the right ventricle, LP is the left atrium, CSR is the final systolic size, CSO is the final systolic volume, CDR is the final diastolic size, CDO is the final diastolic volume, LVEF is the left ventricular ejection fraction, LA is the pulmonary artery.

Таблица 3. Исходная сравнительная характеристика показателей КПНТ у детей с врожденными пороками сердца после радикальной хирургической коррекции в зависимости от программы физической реабилитации, Me [Q25 – Q75]

Table 3. Initial comparative baseline characteristics of CPNT indicators in children with congenital heart defects after radical surgical correction, depending on the physical rehabilitation program, Me [Q25 – Q75]

Показатели	Дети с силовыми тренировками, n = 19	Дети без силовых тренировок, n = 19	p
Пиковое потребление кислорода ($\text{VO}_{2\text{peak}}$), мл/кг/мин	21,2 [18,0; 26,3]	22,4 [18,8; 27,1]	0,43
Мощность переносимой нагрузки, Вт	70 [65,0; 100,7]	65,0 [60,0; 100,0]	0,41
ЧСС в покое, уд/мин	94,5 [92,5; 99,5]	98,1 [94,2; 102,4]	0,47
Максимальная частота сердечных сокращений при КНТП, уд/мин	163,0 [148,0; 171,0]	167,5 [139,0; 173,5]	0,75
Сатурация при физической нагрузке, %	96,5 [96,0; 97,0]	97,0 [94,5; 98,0]	0,66
Соотношение прироста пульса к потреблению O_2 (HR/Vkg-slope), (уд/мл/кг)	7,6 [6,4; 8,2]	7,3 [6,8; 8,9]	0,51
Вентиляторный эквивалент CO_2 (VE/VCO ₂)	25,9 [23,0; 27,9]	24,3 [24,2; 27,4]	0,61

Примечание: КПНТ — кардиопульмональный нагрузочный тест.

Note: KPNT is a cardiopulmonary exercise test.

Таблица 4. Исходная сравнительная характеристика показателей силовых функциональных проб у детей с врожденными пороками сердца после радикальной хирургической коррекции в зависимости от программы физической реабилитации, Me [Q25 – Q75]

Table 4. Initial comparative characteristics of strength functional tests in children with congenital heart defects after radical surgical correction, depending on the physical rehabilitation program, Me [Q25 – Q75]

Показатели	Дети с силовыми тренировками, n = 19	Дети без силовых тренировок, n = 19	p
Силовой индекс (обе руки), %	44,6 [36,0; 52,5]	43,4 [35,0; 51,1]	0,71
Средняя сила хвата, кг	23,3 [16,3; 33,2]	22,5 [16,0; 32,4]	0,63
Становая проба, кг	56,0 [46,0; 100,0]	54 [46,0; 95,0]	0,46

отягощением для каждого ребенка, применявшаяся в течение 2 недель стационарной и 12 недель амбулаторной реабилитации пациентов с ВПС, привела к более выраженному увеличению силы сжатия кисти и силы мышц туловища, оцененным с помощью функционального тестирования (табл. 5).

При сравнении данных спирометрии, представленных в таблице 6, оказалось, что у детей, которые занимались силовыми тренировками, были более высокие показатели $\text{V}'\text{O}_{2\text{peak}}$, более низкие показатели VE/V'CO₂ и HR/Vkg-slope, что говорит о более высокой работоспособности детей,

Таблица 5. Сравнительная характеристика показателей силовых функциональных проб у детей с корригированными врожденными пороками сердца в динамике в зависимости от программы физической реабилитации, Me [Q25 – Q75]

Table 5. Comparative characteristics of strength functional tests in children with corrected congenital heart defects in dynamics depending on the physical rehabilitation program, Me [Q25 – Q75]

Показатели	Дети с силовыми тренировками, n = 19	Дети без силовых тренировок, n = 19	p
Средняя сила хвата, кг	25,4 [20,3; 36,2]	23,1 [18,7; 33,5]	0,03
Становая проба, кг	73,0 [58,0; 115,0]	58 [50,0; 100,0]	0,02

Таблица 6. Сравнительная характеристика показателей спироэргометрии у детей с корригированными ВПС в динамике в зависимости от программы физической реабилитации, Me [Q25 – Q75]

Table 6. Comparative characteristics of spiroergometry in children with corrected CHD in dynamics depending on the physical rehabilitation program, Me [Q25 – Q75]

Показатели	Дети с силовыми тренировками, n = 19	Дети без силовых тренировок, n = 19	p
Пиковое потребление кислорода (VO_{peak}), мл/кг/мин	24,7 [2,5; 32,5]	23,1 [20,5; 29,4]	0,04
Мощность переносимой нагрузки, Вт	125,0 [65,0; 140,5]	110,0 [60,0; 120,0]	0,04
ЧСС в покое	96,0 [92,5; 102,5]	98,2 [94,0; 104,4]	0,86
Максимальная частота сердечных сокращений при КРТ, уд/мин	170,0 [151,2; 176,5]	166,5 [149,0; 174,5]	0,75
Сатурация при физической нагрузке, %	98,5 [97,0; 99,0]	97,0 [96,5; 98,0]	0,62
Соотношение прироста пульса к потреблению O_2 (HR/V kg-slope), уд/мл/кг	5,6 [5,2; 8,0]	6,3 [6,0; 8,9]	0,04
Вентиляционный эквивалент CO_2 (VE/V CO_2)	23,9 [23,0; 26,3]	24,3 [24,2; 27,4]	0,05

занимающихся ФТ, в сравнении с детьми, не занимающимися силовыми тренировками.

Кроме того, у них были более высокие показатели переносимой мощности при физической нагрузке.

ОБСУЖДЕНИЕ

В сравнении с аэробными динамическими упражнениями, упражнения с отягощением обеспечивают более мощный анаболический стимул для гипертрофии мышц и увеличения мышечной силы. Важно отметить, что ряд недавних обзоров

подчеркнули положительную корреляционную связь между сниженной силой мышц и повышенным риском сердечно-сосудистых заболеваний и смертности от них [15, 16]. Таким образом, сниженная мышечная сила становится модифицируемым фактором риска сердечно-сосудистых заболеваний. Кроме того, состояние скелетных мышц является одним из факторов, влияющих на кардиореспираторную выносливость. А у пациентов с хронической сердечной недостаточностью нарушение функций периферических скелетных мышц относится к одному из основных факторов, способ-

ствующих непереносимости физических нагрузок [17, 18]. Таким образом, существует веское физиологическое обоснование необходимости включения силовых тренировок в реабилитацию детей после коррекции ВПС.

По нашим данным, большинство детей имеют сниженную мышечную силу, что согласуется с результатами других исследований [10, 19, 20]. В работе de Souza R. (2020) большинство (96,9 %) детей с ВПС имели низкую мышечную силу [21]. В исследовании Eshuis G. и соавторов (2023) у детей с восстановленной тетрадой Фалло средние значения показателей мышечной силы были ниже, чем у их здоровых сверстников [11].

Недавний метаанализ показал, что у пациентов с корригированными ВПС силовые тренировки привели к увеличению не только мышечной силы, но и к улучшению физической работоспособности в той же степени, что и аэробные нагрузки. Более того, эффекты аэробных тренировок на физическую работоспособность и мышечную силу были значимо усилены при добавлении силовых упражнений к динамическим аэробным тренировкам [22].

В результате проведенного нами исследования было выявлено, что у пациентов с корригированными ВПС использование в течение 2 недель стационарной и 12 недель амбулаторной реабилитации аэробных динамических нагрузок совместно с силовыми тренировками с индивидуально рассчитанным отягощением привело к более выраженному увеличению силы сжатия кисти и силы мышц туловища, оцененных с помощью функционального тестирования. Кроме того, у детей, которые занимались силовыми тренировками, повысилась физическая работоспособность в сравнении с ровесниками, не выполнившими силовых упражнений, что проявилось более высокими показателями VO_{peak} и более низкими показателями VE/VCO_2 и $\text{HR}/\text{Vkg-slope}$. Также у них были более высокие показатели переносимой мощности при физической нагрузке.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Использование в течение 2 недель стационарной и 12 недель амбулаторной реабилитации комбинированных аэробных динамических нагрузок с силовыми тренировками с индивидуально рассчитанным отягощением не только привело к более выраженному увеличению мышечной силы, оцененной с помощью функционального тестирования, но и повысило физическую работоспособность детей с корригированными врожденными пороками сердца в сравнении с детьми, выполнявшими только динамические аэробные нагрузки.

Конфликт интересов/ Conflict of interest

Авторы заявили об отсутствии потенциального конфликта интересов. / The authors stated no conflict of interest.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ / REFERENCES

1. Mandalenakis Z, Giang KW, Eriksson P, et al. Survival in children with congenital heart disease: have we reached a peak at 97%? Journal of the American Heart Association. 2020; 9(22):C. e017704.
2. Böhm B, Oberhoffer R. Vascular health determinants in children. Cardiovascular diagnosis and therapy. 2019; 9(Suppl 2):S269.
3. Brudy L, Häcker AL, Meyer M, et al. Adults with congenital heart disease move well but lack intensity: a cross-sectional study using wrist-worn physical activity trackers. Cardiology. 2022; 147(1):72–80.
4. De Ferranti SD, Steinberger J, Ameduri R, et al. Cardiovascular risk reduction in high-risk pediatric patients: a scientific statement from the American heart association. Circulation. 2019; 139(13):e603–e634.
5. Warburton DER, Bredin SSD. Health benefits of physical activity: a systematic review of current systematic reviews. Current opinion in cardiology. 2017; 32(5):541–556.
6. Dulfer K, Helbing WA, Duppen N, et al. Associations between exercise capacity, physical activity, and psychosocial functioning in children with congenital heart disease: a systematic review //European journal of preventive cardiology. 2014; 21(10):1200–1215.
7. Takken T, Giardini A, Reybrouck T, et al. Recommendations for physical activity, recreation sport, and exercise training in paediatric patients with congenital heart disease: a report from the Exercise, Basic & Translational Research Section of the European Association of Cardiovascular Prevention and Rehabilitation, the European Congenital Heart and Lung Exercise Group, and the Association for European Paediatric Cardiology // European journal of preventive cardiology. 2012; 19(5):1034–65.
8. Tran D, Maiorana A, Ayer J, et al. Recommendations for exercise in adolescents and adults with congenital heart disease. Progress in cardiovascular diseases. 2020; 63(3):350–366.
9. Brudy L, Meyer M, Oberhoffer R, et al. Move more—be happier? Physical activity and health-related quality of life in children with congenital heart disease. American Heart Journal. 2021; 241:68–73.
10. Neidenbach RC, Oberhoffer R, Pieper L, et al. The value of hand grip strength (HGS) as a diagnostic and prognostic biomarker in congenital heart disease. Cardiovascular Diagnosis and Therapy. 2019; 9(Suppl 2): S187.

11. Eshuis G, van Duinen H, Lelieveld OT, et al. Decreased muscle strength in children with repaired tetralogy of Fallot: relation with exercise capacity. *Journal of the American Heart Association.* 2023; 12(11):e027937.
12. Thompson P. ACSM Guidelines for Exercise Testing and Prescription Benefits and Risks Associated with Physical Activity. 10th ed. Lippincott Williams & Wilkins; Philadelphia, PA, USA: 2017.
13. Baumgartner H, De Backer J, Babu-Narayan SV, et al. 2020 ESC Guidelines for the management of adult congenital heart disease: the Task Force for the management of adult congenital heart disease of the European Society of Cardiology (ESC). Endorsed by: Association for European Paediatric and Congenital Cardiology (AEPC), International Society for Adult Congenital Heart Disease (ISACHD). *European heart journal.* 2021; 42(6):563–645.
14. Shcherbakova MA. Physical development of children and adolescents: methodological recommendations. Vitebsk: VSU named after P. M. Masherov. 2017; 57 p. In Russian [Физическое развитие детей и подростков: методические рекомендации / М. А. Щербакова. Витебск: ВГУ им. П. М. Машерова, 2017. 56 с.]
15. Carbone S, Billingsley HE, Rodriguez-Miguelez P, et al. Lean mass abnormalities in heart failure: the role of sarcopenia, sarcopenic obesity, and cachexia. *Current problems in cardiology.* 2020; 45(11):100417.
16. Carbone S, Kirkman DL, Garten RS, et al. Muscular strength and cardiovascular disease: an updated state-of-the-art narrative review. *Journal of cardiopulmonary rehabilitation and prevention.* 2020; 40(5):302–309.
17. Pandey A, Shah SJ, Butler J, et al. Exercise intolerance in older adults with heart failure with preserved ejection fraction: JACC state-of-the-art review. *J Am Coll Cardiol.* 2021; 78(11):1166–1187.
18. Del Buono MG, Arena R, Borlaug BA, et al. Exercise intolerance in patients with heart failure: JACC state-of-the-art review. *J Am Coll Cardiol.* 2019; 73(17):2209–2225.
19. Greutmann M, Le TL, Tobler D, et al. Generalised muscle weakness in young adults with congenital heart disease. *Heart.* 2011; 97(14):1164–1168.
20. Meyer M, Wang Y, Brady L, et al. Impaired grip strength in children with congenital heart disease. *Arch Dis Child.* 2022; 107(1):47–51.
21. de Souza R. Muscle strength in children and adolescents hospitalized with congenital heart disease. *Clinical Nutrition and Hospital Dietetics.* 2020; 40(4):70–76.
22. Hollings M, Mavros Y, Freeston J, et al. The effect of progressive resistance training on aerobic fitness and strength in adults with coronary heart disease:
- A systematic review and meta-analysis of randomised controlled trials. *Eur J Prev Cardiol.* 2017; 24:1242–1259.

Информация об авторах:

Помешкина Светлана Александровна, д.м.н., ведущий научный сотрудник НИЛ реабилитации Института сердца и сосудов, ФГБУ «НМИЦ им. В. А. Алмазова» Минздрава России;

Альферова Любовь Сергеевна, младший научный сотрудник НИЛ реабилитации Института сердца и сосудов, ФГБУ «НМИЦ им. В. А. Алмазова» Минздрава России;

Яковлева Елена Владимировна, врач — детский кардиолог отделения детской кардиологии и медицинской реабилитации, клиника Института перинатологии и педиатрии, ФГБУ «НМИЦ им. В. А. Алмазова» Минздрава России;

Васичкина Елена Сергеевна, д.м.н., профессор, руководитель НИЦ неизвестных, редких и генетически обусловленных заболеваний НЦМУ «Центр персонализированной медицины», ФГБУ «НМИЦ им. В. А. Алмазова» Минздрава России;

Демченко Елена Алексеевна, д.м.н., главный научный сотрудник НИЛ реабилитации Института сердца и сосудов, ФГБУ «НМИЦ им. В. А. Алмазова» Минздрава России.

Authors information:

Pomeshkina Svetlana A., Leading Researcher, Research Laboratory of Rehabilitation, Heart and Vascular Institute, Almazov National Medical Research Centre;

Alferova Lyubov` S., Junior Research Assistant, Research Laboratory of Rehabilitation, Heart and Vascular Institute, Almazov National Medical Research Centre;

Yakovleva Elena V., Pediatric Cardiologist at the Department of Pediatric Cardiology and Medical Rehabilitation, Clinic of the Institute of Perinatology and Pediatrics, Almazov National Medical Research Centre;

Vasichkina Elena S., PhD, MD, Head of the Scientific Research Centre for Unknown, Rare and Genetically Caused Diseases of the World-Class Research Centre for Personalized Medicine, Almazov National Medical Research Centre;

Demchenko Elena A., PhD, MD, Chief Researcher, Research Laboratory of Rehabilitation, Heart and Vascular Institute, Almazov National Medical Research Centre.