



*Морсина М.Г.¹, Соинов И.А.¹, Войтов А.В.¹, Пурсанов М.Г.², Кулябин Ю.Ю.¹, Ничай Н.Р.^{1,4},
Горбатов А.В.³, Архипов А.Н.¹, Богачев-Прокофьев А.В.¹, Чернявский А.М.¹

ОЦЕНКА РАЗВИТИЯ ЛЕГОЧНОГО РУСЛА И РЕЗУЛЬТАТОВ ДВУХЭТАПНОЙ КОРРЕКЦИИ У МЛАДЕНЦЕВ С КРИТИЧЕСКОЙ ФОРМОЙ ТЕТРАДЫ ФАЛЛО

¹ФГБУ «НАЦИОНАЛЬНЫЙ МЕДИЦИНСКИЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ЦЕНТР ИМЕНИ АКАДЕМИКА Е.Н. МЕШАЛКИНА» МИНИСТЕРСТВА
ЗДРАВООХРАНЕНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ, ул. Речкуновская, д. 15, г. Новосибирск 630055, Российская Федерация;

²ГБУЗ г. Москвы «Морозовская детская городская клиническая больница Департамента здравоохранения города
Москвы», 4-й Добрынинский переулок, д. 1/9, г. Москва 119049, Российская Федерация;

³ФГБУ «НАЦИОНАЛЬНЫЙ МЕДИЦИНСКИЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ЦЕНТР ИМЕНИ В.А. АЛМАЗОВА» МИНИСТЕРСТВА ЗДРАВООХРАНЕНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ, ул. Аккуратова, д. 2, г. Санкт-Петербург, 197341, Российская Федерация;

⁴ФГБОУ ВО «НОВОСИБИРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ МЕДИЦИНСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ» МИНИСТЕРСТВА ЗДРАВООХРАНЕНИЯ РОССИЙСКОЙ
ФЕДЕРАЦИИ, ул. Красный проспект, д. 52, г. Новосибирск, 630091, Российская Федерация.

***Ответственный автор:** Морсина Мелине Гамлетовна, врач сердечно-сосудистый хирург кардиохирургического отделения №1, ФГБУ «НМИЦ им. ак. Е.Н. Мешалкина» Минздрава России, ул. Речкуновская, д. 15, г. Новосибирск 630055, Российская Федерация, e-mail: melinegamletovna@yandex.ru, ORCID: 0000-0003-3870-169X

Соинов Илья Александрович, к.м.н., врач сердечно-сосудистый хирург кардиохирургического отделения №1, старший научный сотрудник центра новых хирургических технологий ФГБУ «НМИЦ им. ак. Е.Н. Мешалкина» Минздрава России, Новосибирск, Россия, ORCID: 0000-0003-3691-2848

Войтов Алексей Викторович, к.м.н., врач сердечно-сосудистый хирург кардиохирургического отделения №1, ФГБУ «НМИЦ им. ак. Е.Н. Мешалкина» Минздрава России, Новосибирск, Россия, ORCID: 0000-0003-3797-4899

Пурсанов Манолис Георгиевич, д.м.н., врач рентгенэндоваскулярный хирург ГБУЗ г. Москвы «Морозовская детская городская клиническая больница Департамента здравоохранения города Москвы», Москва, Россия, ORCID: 0000-0002-1421-1795

Кулябин Юрий Юрьевич, к.м.н., врач сердечно-сосудистый хирург кардиохирургического отделения №1, ФГБУ «НМИЦ им. ак. Е.Н. Мешалкина» Минздрава России, Новосибирск, Россия, ORCID: 0000-0002-2361-5847

Ничай Наталия Романовна, к.м.н., врач сердечно-сосудистый хирург кардиохирургического отделения врожденных пороков сердца, ФГБУ «НМИЦ им. ак. Е.Н. Мешалкина» Минздрава России, Новосибирск, Россия, ORCID: 0000-0002-1763-9535

Горбатов Артем Викторович, к.м.н., заведующий НИЛ интервенционной хирургии, врач по рентгенэндоваскулярной диагностике и лечению, врач сердечно-сосудистый хирург, ФГБУ «НМИЦ им. В.А. Алмазова Минздрава России», Санкт-Петербург, Россия, ORCID: 0000-0003-4017-4198

Архипов Алексей Николаевич, к.м.н., врач сердечно-сосудистый хирург, заведующий кардиохирургического отделения №1, старший научный сотрудник центра новых хирургических технологий ФГБУ «НМИЦ им. ак. Е.Н. Мешалкина» Минздрава России, Новосибирск, Россия, ORCID: 0000-0003-3234-5436

Богачев-Прокофьев Александр Владимирович, д.м.н., директор института патологии кровообращения, врач сердечно-сосудистый хирург кардиохирургического отделения №3 ФГБУ «НМИЦ им. ак. Е.Н. Мешалкина» Минздрава России, Новосибирск, Россия, ORCID: 0000-0003-4625-4631

Чернявский Александр Михайлович, чл.-корр. РАН, д.м.н., профессор, директор ФГБУ «НМИЦ им. ак. Е.Н. Мешалкина» Минздрава России, Новосибирск, Россия, ORCID: 0000-0001-9818-8678

РЕЗЮМЕ

Цель: оценить развитие легочного русла и результаты радикальной коррекции после паллиативного лечения у младенцев с критической формой тетрады Фалло.

Материалы и методы. В проспективное рандомизированное двухцентровое исследование включены младенцы с тетрадой Фалло, оперированные в период с 2019 по 2022 гг.: которым выполнялось стентирование выходного отдела правого желудочка (группа «стент», n=21) или формирование модифицированного шунта по Блэлок-Тауссиг (группа «шунт», n=21).

Результаты. В группе стент отмечен более значимый прирост индекса Nakata в среднем с 104,2 до 208,6 мм²/м², в то время как в группе шунт – с 107,3 до 169,4 мм²/м² (p<0,01). По результатам смешанной модели скорость роста правой легочной артерии в группе стент 2,05*10⁻² з score/день, что в 3,01 раз больше, чем в группе шунт. Скорость роста левой легочной артерии в группе стент 2,3*10⁻² з score/день, что в 1,47 раз больше, чем в группе шунт. В группе стент в межэтапном периоде 1 летальный исход,

обусловленный некардиальной патологией. При радикальной коррекции у 12 (60%) пациентов в группе стент и у 15 (71,4%) – в группе шунт выполнена трансаннулярная пластика пути оттока в легочную артерию (p=0,52). В оставшихся 8 (40%) случаях группы стент и 6 (28,6%) группы шунт выполнено протезирование легочной артерии. При межгрупповом сравнении длительность операции радикальной коррекции в группе стент достоверно короче (p=0,046), в то время как время окклюзии аорты (p<0,01) и искусственного кровообращения (p<0,01) достоверно меньше в группе шунт.

Выводы. Стентирование выходного отдела правого желудочка обеспечивает стабилизацию гемодинамики и равномерный рост легочного русла в сравнении с формированием модифицированного шунта Блэлок-Тауссиг.

Ключевые слова: тетрада Фалло, гипоплазия легочных артерий, двухэтапная коррекция, стентирование выходного отдела правого желудочка, модифицированный шунт Блэлок-Тауссиг.

Вклад авторов. Все авторы соответствуют критериям авторства ICMJE, принимали участие в подготовке статьи, наборе материала и его обработке.

Информация о конфликте интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Информация и соблюдение этических норм. Исследование было выполнено в соответствии со стандартами надлежащей клинической практики и принципами Хельсинской Декларации. Протокол исследования №9 был

одобрен на заседании Этического комитета ФГБУ «НМИЦ им. ак. Е.Н. Мешалкина» Минздрава России. До включения в исследование у опекунов участников было получено письменное информированное согласие.

Финансирование статьи. Исследование выполнено в рамках проекта № 22-25-20102 (соглашение № 22-25-20102 от 22.03.2022 г. с РНФ и соглашение № p-29 от 13.03.2023 г. с Министерством науки и инновационной политики Новосибирской области).

✉ MELINEGAMLETOVNA@YANDEX.RU

Для цитирования: Морсина М.Г., Соинов И.А., Войтов А.В., Пурсанов М.Г., Кулябин Ю.Ю., Ничай Н.Р., Горбатов А.В., Архипов А.Н., Богачев-Прокофьев А.В., Чернявский А.М. Оценка развития легочного русла и результатов двухэтапной коррекции у младенцев с критической формой Тетрады Фалло. 2023;(4):6-15. https://doi.org/10.38109/2225-1685-2023-4-6-15

Рукопись получена: 20.10.2023 | **Рецензия получена:** 23.10.2023 | **Принята к публикации:** 31.10.2023

© Морсина М.Г., Соинов И.А., Войтов А.В., Пурсанов М.Г., Кулябин Ю.Ю., Ничай Н.Р., Горбатов А.В., Архипов А.Н., Богачев-Прокофьев А.В., Чернявский А.М., 2023
Данная статья распространяется на условиях «открытого доступа», в соответствии с лицензией CC BY-NC-SA 4.0 («Attribution-NonCommercial-ShareAlike») / «Атрибуция-Некоммерчески-Сохранение Условий» 4.0, которая разрешает неограниченное некоммерческое использование, распространение и воспроизведение на любом носителе при условии указания автора и источника. Чтобы ознакомиться с полными условиями данной лицензии на русском языке, посетите сайт: https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/deed.ru



*Meline G. Morsina¹, Ilya A. Soynov¹, Aleksey V. Voitov¹, Manolis G. Pursanov²,
Yury Yu. Kulyabin¹, Nataliya R. Nichay^{1,4}, Artem V. Gorbatykh³, Aleksey N. Arkhipov¹,
Aleksander V. Bogachev-Prokophiev¹, Aleksander M. Chernyavskiy¹

ASSESSMENT OF THE PULMONARY ARTERIAL GROWTH AND RESULTS OF TWO-STAGE REPAIR IN INFANTS WITH SEVERE FORM OF TETRALOGY OF FALLOT

¹MESHALKIN NATIONAL MEDICAL RESEARCH CENTER, RECHKUNOVSKAYA STR. 15, NOVOSIBIRSK 630055, RUSSIAN FEDERATION;

²MOROZOV CHILDREN'S MUNICIPAL CLINICAL HOSPITAL OF THE MOSCOW CITY HEALTH DEPARTMENT,
1/9, 4TH DOBRYNINSKIY PEREULOK, MOSCOW 119049, RUSSIAN FEDERATION;

³ALMAZOV NATIONAL MEDICAL RESEARCH CENTRE, AKKURATOVA STR. 2, SAINT PETERSBURG 197341, RUSSIAN FEDERATION;

⁴NOVOSIBIRSK STATE MEDICAL UNIVERSITY, KRASNY PROSPECT 52, NOVOSIBIRSK 630091, RUSSIAN FEDERATION;

*Corresponding author: Meline G. Morsina, Cardiovascular Surgeon, Cardiosurgical Department No. 1, Meshalkin National Medical Research Center, Novosibirsk, Russian Federation, Rechkunovskaya str, 15, Novosibirsk 630055, Russian Federation, e-mail: melinegamletovna@yandex.ru, ORCID: 0000-0003-3870-169X

Ilya A. Soynov, Cand. of Sci. (Med.), Cardiovascular Surgeon, Cardiosurgical Department No. 1, Senior Researcher, Center for New Surgical Technologies, Meshalkin National Medical Research Center, Novosibirsk, Russian Federation, ORCID: 0000-0003-3691-2848

Aleksey V. Voitov, Cand. of Sci. (Med.), Cardiovascular Surgeon, Cardiosurgical Department No. 1, Meshalkin National Medical Research Center, Novosibirsk, Russian Federation, ORCID: 0000-0003-3797-4899

Manolis G. Pursanov, Dr. of Sci. (Med.), X-ray Endovascular Surgeon, Morozov Children's Municipal Clinical Hospital, Moscow Health Department, Moscow, Russian Federation, ORCID: 0000-0002-1421-1795

Yury Yu. Kulyabin, Cand. of Sci. (Med.), Cardiovascular Surgeon, Cardiosurgical Department No. 1, Meshalkin National Medical Research Center, Novosibirsk, Russian Federation, ORCID: 0000-0002-2361-5847

Nataliya R. Nichay, Cand. of Sci. (Med.), Cardiovascular Surgeon, Cardiosurgical Department No. 1, Meshalkin National Medical Research Center, Novosibirsk, Russian Federation, ORCID: 0000-0002-1763-9535

Artem V. Gorbatykh, Cand. Med. Sci. (Med.), Head of Research Laboratory of Interventional Surgery, Endovascular Surgeon, ORCID: 0000-0003-4017-4198

Aleksey N. Arkhipov, Cand. Med. Sci. (Med.), Cardiovascular Surgeon, Head of the Cardiosurgical Department No.1, Senior Researcher, Center for New Surgical Technologies, Meshalkin National Medical Research Center, Novosibirsk, Russian Federation, ORCID: 0000-0003-3234-5436

Aleksander V. Bogachev-Prokofiev, Dr. of Sci. (Med.), Chief of department circulatory pathology, Meshalkin National Medical Research Center, Novosibirsk, Russian Federation, ORCID: 0000-0003-4625-4631

Aleksander M. Chernyavskiy, corresponding member of RAS, Dr. of Sci. (Med.), Prof., General Director, Meshalkin National Medical Research Center, Novosibirsk, Russian Federation, ORCID: 0000-0001-9818-8678

SUMMARY

Aim: assess of the pulmonary artery growth and the outcomes of complete repair after palliative treatment in infants with critical form of Tetralogy of Fallot

Methods. This was prospective randomized two-center study (2019 to 2022). Its included infants with Tetralogy of Fallot who underwent palliation with either stenting of the right ventricular outflow tract (stent group, n=21) or modified Blalock-Taussig shunt (shunt group, n=21).

Results. In the stent group Nakata index increase from median 104.2 to 208.6 mm²/m², while in the shunt group, it increased from 107.3 to 169.4 mm²/m² (p<0.01). Mixed model analysis showed that in stent group the right pulmonary artery growth rate was 2.05*10⁻² z scores/day, which was 3.01 times higher than in the shunt group. In stent group the left pulmonary artery growth rate was 2.3*10⁻² z scores/day, which was 1.47 times higher than in the shunt group. In the stent group, there was one noncardiac-related mortality during

the intermediate period. Transannular patch repair of the right ventricular outflow tract was performed in 12 patients (60%) in the stent group and in 15 patients (71.4%) in the shunt group (p=0.52) during complete repair. At 8 cases (40%) in the stent group and 6 cases (28.6%) in the shunt group, pulmonary artery replacement was performed. Time to surgical repair was shorter in the stent group (p=0.046), while the aortic cross clamp time (p<0.01) and cardiopulmonary bypass time (p<0.01) were significantly shorter in the shunt group.

Conclusions. Right ventricular outflow tract stenting provides hemodynamic stabilization and uniform growth of the pulmonary artery compared to modified Blalock-Taussig shunt.

Key words: tetralogy of Fallot, pulmonary artery hypoplasia, two-stage repair, stenting of the right ventricular outflow tract, modified Blalock-Taussig shunt.

Authors' contributions. All authors meet the ICMJE criteria for authorship, participated in the preparation of the article, the collection of material and its processing.

Information about ethics. The study was performed in accordance with the standards of good clinical practice and the principles of the Helsinki Declaration. The protocol of the study No. 9 was approved at the meeting of the Ethics Committee of the Meshalkin National Medical Research Center of the Ministry

of Health of the Russian Federation. Prior to inclusion in the study, written informed consent was obtained from the participants' guardians.

Conflict of interest: no

Funding. The research was carried out within the framework of project No. 22-25-20102 (agreement No. 22-25-20102 dated 22.03.2022 with the Russian Science Foundation and agreement No. r-29 dated 13.03.2023 with the Ministry of Science and Innovation Policy of the Novosibirsk Region)

✉ MELINEGAMLETOVNA@YANDEX.RU

For citation: Meline G. Morsina, Ilya A. Soynov, Aleksey V. Voitov, Manolis G. Pursanov, Yury Yu. Kulyabin, Nataliya R. Nichay, Artem V. Gorbatykh, Aleksey N. Arkhipov, Aleksander V. Bogachev-Prokophiev, Aleksander M. Chernyavskiy. Assessment of the pulmonary arterial growth and results of two-stage repair in infants with severe form of tetralogy of Fallot. Eurasian heart journal. 2023;(4):6-15 (In Russ.). https://doi.org/10.38109/2225-1685-2023-4-6-15

Received: 10.10.2023 | **Revision Received:** 23.10.2023 | **Accepted:** 31.10.2023

© Meline G. Morsina, Ilya A. Soynov, Aleksey V. Voitov, Manolis G. Pursanov, Yury Yu. Kulyabin, Nataliya R. Nichay, Artem V. Gorbatykh, Aleksey N. Arkhipov, Aleksander V. Bogachev-Prokophiev, Aleksander M. Chernyavskiy, 2023

This is an open access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International (CC BY-NC-SA 4.0) License (https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/), which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original author and source are credited.

ВВЕДЕНИЕ

Для симптомных младенцев с тетрадой Фалло и низкой массой тела, с сопутствующей патологией наиболее предпочтительным является этапный подход лечения, при котором вначале выполняется паллиативная операция и спустя время отсроченная анатомическая коррекция [1,2]. Однако наиболее значимыми факторами риска для развития неблагоприятных событий, как при одномоментном выполнении анатомической коррекции, так и для формирования модифицированного шунта Блэлок-Тауссиг (мБТШ) являются низкий вес и выраженная гипоплазия легочного русла [1,3,8,25]. В многочисленных исследованиях, у пациентов с синдромом гипоплазии левых отделов сердца, с атрезией легочной артерии и дефектом межжелудочковой перегородки (тип А, В по Tchervenkov) выявлено, что реконструкция выходного отдела правого желудочка приводит к более эффективной реабилитации легочного русла в сравнении с формированием шунта Блэлок-Тауссиг [9-16]. Таким образом, можно предположить, что устранение выраженной обструкции выходного отдела правого желудочка при тетраде Фалло может привести к более эффективному росту центрального легочного русла в сравнении с мБТШ. За последние годы в литературе встречается все больше работ, описывающих эндоваскулярный метод стентирования выходного отдела правого желудочка (ВОПЖ) как альтернативу формированию модифицированного шунта Блэлок-Тауссиг [3-7].

Целью нашего исследования является сравнительная оценка развития легочного русла после двух методов паллиативной помощи (стентирования выходного отдела правого желудочка или формирования модифицированного шунта Блэлок-Тауссиг) и результатов двухэтапной коррекции у младенцев с критической формой тетрады Фалло.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

В период с 2019 по 2022 год на базе ФГБУ «НМИЦ им. ак. Е.Н. Мешалкина» совместно с ГБУЗ «Морозовская ДГКБ ДЗМ» проведено проспективное рандомизированное двухцентровое исследование. Расчет размера выборки выполнен с помощью приложения G*Power 3.1 (<http://gpower.hhu.de>). Принимая результаты ретроспективных исследований Dohlen G. и соавторов [5], Zhou T. и соавторов [26], было рассчитано, что 21 пациента в каждой из двух групп будет достаточно для воспроизведения разницы по индексу Nakata к этапу радикальной коррекции после паллиативного вмешательства. Мощность исследования 80%. В соответствии с критериями включения и не включения (рис. 1) из 47 пациентов в исследование набрано

42 младенца, которым выполнена этапная коррекция порока. После рандомизации путем случайных цифр дети были разделены на две группы (по 21 пациенту в каждой группе) в зависимости от метода паллиативного лечения (стентирование ВОПЖ либо формирование мБТШ). Дизайн исследования представлен на рисунке 2.

Данная работа посвящена сравнительной оценке степени развития центрального легочного русла после паллиативного вмешательства, описанию осложнений в межэтапном периоде и результатам отсроченной анатомической коррекции.

Первичной конечной точкой являлась: степень развития центрального легочного русла через 3 месяца после паллиативной операции. Эффект от паллиативного лечения считался достигнутым при индексе Nakata $\geq 200 \text{ мм}^2/\text{м}^2$ (результат оценивался с помощью бинарной логистической регрессии).

Вторичные конечные точки:

- сравнительная оценка роста центрального легочного русла к моменту отсроченной анатомической коррекции (результаты проанализированы с помощью смешанной модели);
- частота реинтервенций и летальность в межэтапном периоде;
- сравнительная оценка результатов отсроченной анатомической коррекции;
- вариант реконструкции выходного отдела правого желудочка при отсроченной радикальной коррекции (трансаннулярная пластика, имплантация клапаносодержащего ксенокондуита легочной артерии).

Динамика роста клапана, ствола легочной артерии, правой и левой ветвей легочной артерии на уровне бифуркации оценивалась с помощью серии эхокардиографических исследований, выполненных до паллиативного лечения, амбулаторно в межэтапном периоде, к моменту отсроченной анатомической коррекции. Результаты проанализированы индексированными показателями z score [19]. Для уточнения анатомии выходного отдела правого желудочка, степени гипоплазии легочного русла, анатомии коронарных артерий до паллиативного вмешательства и спустя 3 месяца проводилась мультиспиральная компьютерная томография (МСКТ) с контрастированием. Степень гипоплазии легочного русла оценивалась с помощью индекса Nakata [17,18].

Хирургическая техника

Стентирование выходного отдела правого желудочка

Процедура ангиопульмонографии с вентрикулографией правого желудочка, стентирование выходного отдела правого же-

Критерии включения:

вес менее 4 кг;

частые одышно-цианотические приступы с десатурацией ниже 75%, на фоне проводимой медикаментозной терапии;

выраженная гипоплазия центрального легочного русла (z score < -2 , индекс Nakata < 150);

наличие тяжелой сопутствующей некардиальной патологии (инфекционный процесс, неврологическое поражение, бронхолегочная дисплазия и т.д.)

Критерии не включения:

наличие тяжелой генетической патологии;

наличие гемодинамически значимых коронарно-правожелудочковых фистул;

мультифокальный легочный кровоток;

неконфлюентные легочные артерии;

наличие сопутствующей кардиальной патологии (например, атриовентрикулярной коммуникации, гипоплазии левого желудочка и др.);

ранее выполненные хирургические вмешательства

Рисунок 1. Критерии включения и не включения в исследование

Figure 1. Inclusion and exclusion criteria for the study

лудочка осуществлялись в интервенционной операционной в условиях интубационного наркоза с искусственной вентиляцией легких и миорелаксацией. Выбор диаметра стента определялся из расчета диаметра наиболее узкого места пути оттока в легочную артерию в фазу диастолы плюс 1–2 мм. Стент устанавливался на всем протяжении выходного отдела правого желудочка. В случае выраженного комбинированного стеноза стент пересекал клапан легочной артерии.

Радикальная коррекция

Во всех случаях операция выполнялась в условиях искусственного кровообращения, умеренной гипотермии, с применением кардиopleгического раствора Кустодиол. Выбор метода реконструкции выходного отдела правого желудочка был обусловлен оценкой риска развития правожелудочковой недостаточности.

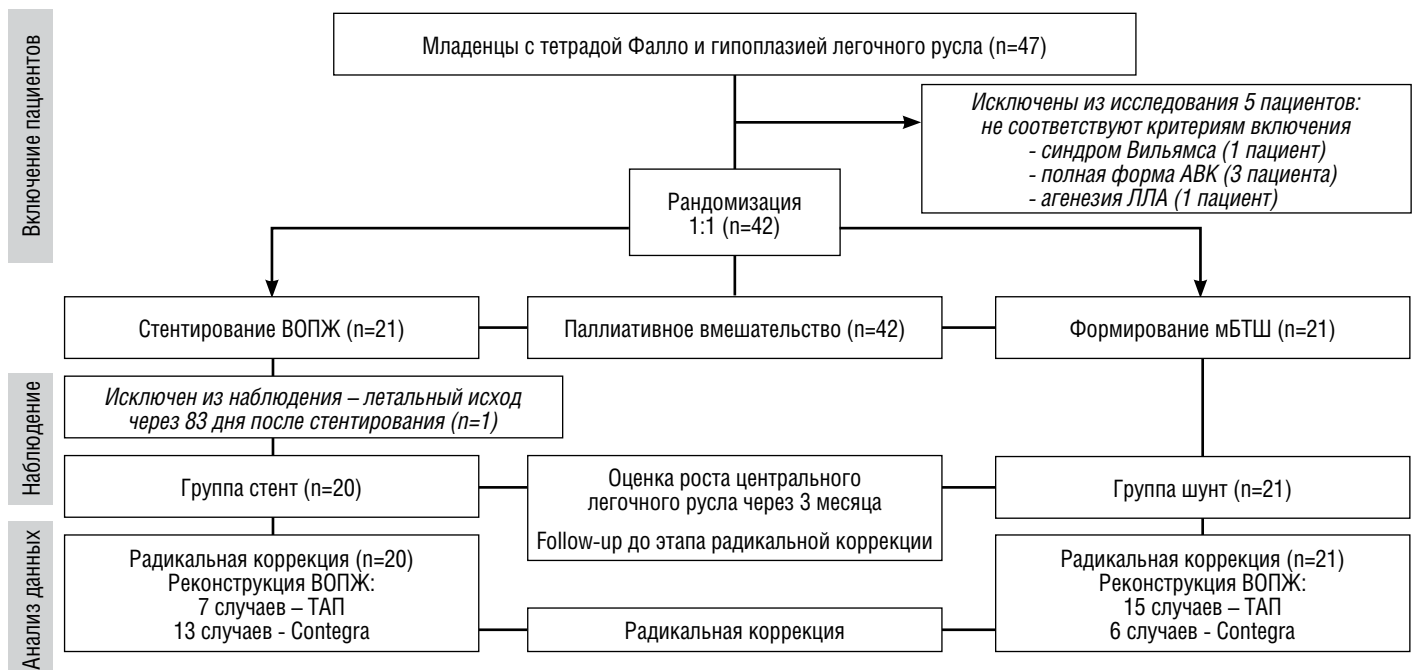
РЕЗУЛЬТАТЫ

Реабилитация легочного русла

Проведена сравнительная оценка динамики роста центрального легочного русла от момента паллиативной помощи до отсроченной анатомической коррекции с помощью индексированных показателей. При межгрупповом сравнении степень развития центрального легочного русла в группах стент и шунт до паллиативного лечения не отличалась.

К моменту радикальной коррекции роста клапана легочной артерии в исследуемых группах не выявлено ($p=0,5$ в группе стент, $p=0,1$ в группе шунт). Однако отмечается развитие ветвей легочной артерии. За период наблюдения медиана z score правой легочной артерии в группе стент увеличилась с $-2,3$ до $0,08$ ($p<0,01$); в группе шунт – с $-2,3$ до $-1,5$ ($p<0,01$) соответственно.

Проспективное рандомизированное двухцентровое исследование



Примечание/Note: ВОПЖ – выходной отдел правого желудочка (RVOT – right ventricular outflow tract); мБТШ – модифицированный шунт Блэлок-Тауссиг (mBTS – modified Blalock-Taussig shunt); ТАП – трансаннулярная пластика (TAP – transannular patch)

Рисунок 2. Дизайн исследования
Figure 2. Study design

Таблица 1. Межгрупповое сравнение развития легочного русла от момента паллиативного лечения до радикальной коррекции
Table 1. Between-group comparison of pulmonary arterial growth from palliative procedures to complete repair

Характеристика	Показатели перед РК		P value	Характеристика	Группа шунт		P value
	группа стент (n=20)	группа шунт (n=21)			группа стент (n=20)	группа шунт (n=21)	
z score клЛА	–3,2 (–4,1;–2,6)	–3,1 (–4,5;–2,4)	0,7	Δz score клапана ЛА	0,35 (–0,34;1,1)	0,48 (–0,67;2,19)	0,6
z score стЛА	–1,6 (–2,4;–0,8)	–2,6 (–3,7;–1,9)	0,02	Δz score ствол ЛА	2,03 (0,49;2,77)	1,59 (0,4;2,32)	0,3
z score ПЛА	0,08 (–0,4;0,9)	–1,5 (–2,1;–0,6)	<0,01	Δz score ПЛА	2,2 (1,7;3,5)	1,1 (0,8;1,97)	<0,01
z score ЛЛА	0,5 (–0,4;1,7)	–0,3 (–0,5;0,5)	0,049	Δz score ЛЛА	2,6 (1,7;3,6)	1,6 (1,1;2,4)	0,02
Индекс Nakata	208,6 (173;266)	169,4 (139,7;187,1)	<0,01	ΔИндекс Nakata	105,2 (64,8;137,8)	58,2 (50,3;83,6)	0,01

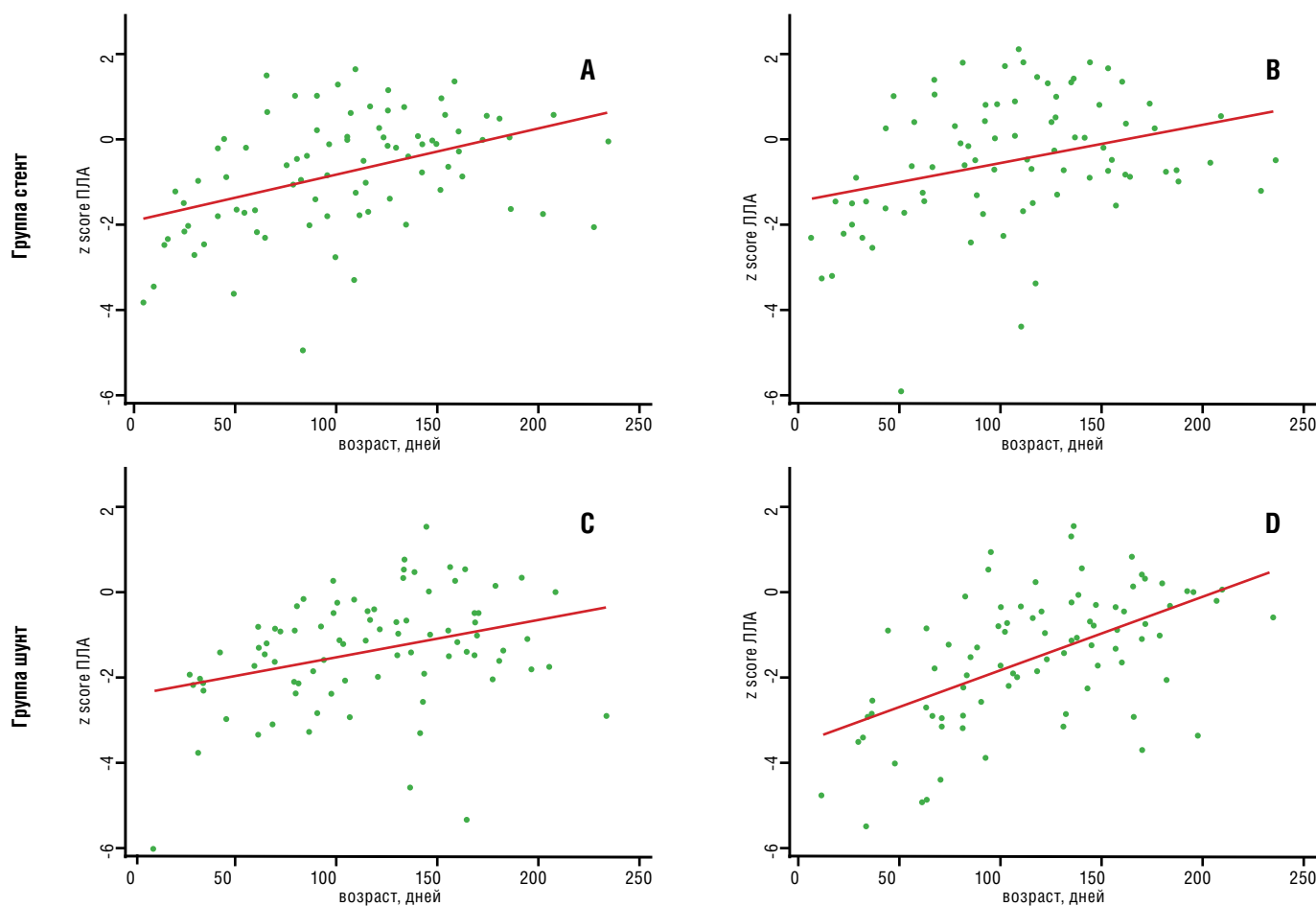
Медиана z score левой легочной артерии в группе стент выросла с $-2,1$ до $0,5$ ($p<0,01$); в группе шунт с $-1,9$ до $-0,25$ ($p<0,01$). На рисунке 3 представлены все измерения ветвей легочных артерий по данным эхокардиографии. Также динамика роста легочных артерий по z score за период наблюдения представлена в таблице 1 и рисунке 4. По данным МСКТ с контрастированием через 3 месяца после паллиативного лечения также отмечен рост легочного русла по индексу Nakata в среднем с $104,2$ мм²/мм² до $208,6$

мм²/мм² в группе стент ($p<0,01$) и с $107,3$ мм²/мм² до $169,4$ мм²/мм² в группе шунт ($p<0,01$). К этапу радикальной коррекции при межгрупповом сравнении показатели z score правой и левой легочных артерий, индекса Nakata в группе стент достоверно выше, чем в группе шунт ($p<0,01$; $p=0,049$ и $p<0,01$ соответственно). Результаты межгруппового сравнения индексированных показателей z score перед радикальной коррекцией и прирост z score за период наблюдения представлены в таблице 2.

Таблица 2. Межгрупповое сравнение индексированных показателей z score перед радикальной коррекцией и прирост z score за период наблюдения

Table 2. Between-group comparison of indexed z score before complete repair and z score growth during the observation period

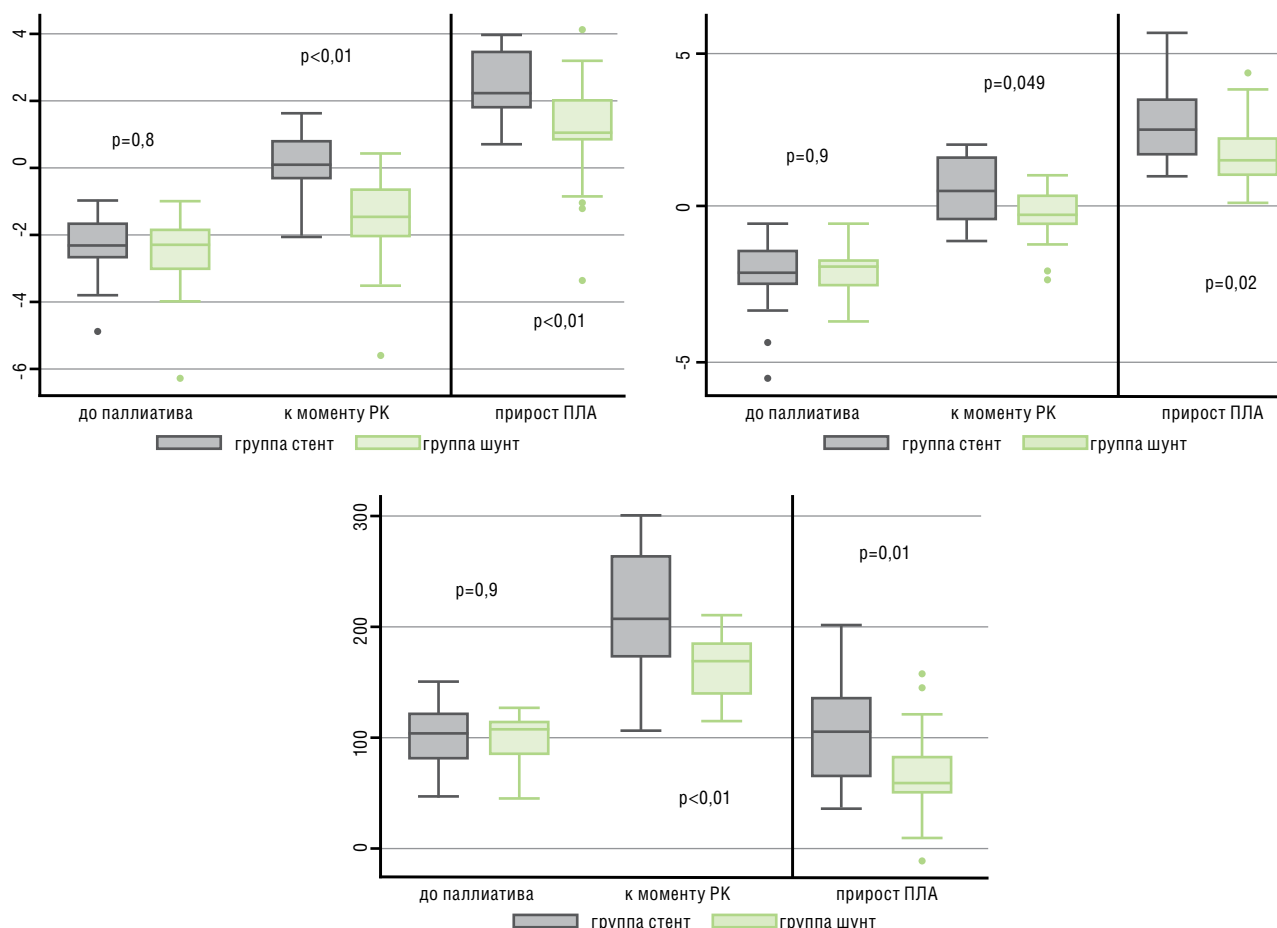
Характеристика	группа стент		P value	группа шунт		P value
	до паллиатива (n=21)	к этапу РК (n=20)		до паллиатива (n=21)	к этапу РК (n=21)	
z score клЛА	$-3,3$ ($-4,5$; $-2,8$)	$-3,2$ ($-4,1$; $-2,6$)	0,5	$-3,8$ ($-5,7$; $-2,7$)	$-3,1$ ($-4,5$; $-2,4$)	0,1
z score стЛА	$-3,8$ ($-4,7$; $-2,8$)	$-1,6$ ($-2,4$; $-0,8$)	$<0,01$	$-3,9$ ($-4,3$; $-3,5$)	$-2,6$ ($-3,7$; $-1,9$)	0,01
z score ПЛА	$-2,3$ ($-2,8$; $-1,7$)	$0,08$ ($-0,4$; $0,9$)	$<0,01$	$-2,3$ (-3 ; $-1,9$)	$-1,5$ ($-2,1$; $-0,6$)	$<0,01$
z score ЛЛА	$-2,1$ ($-2,4$; $-1,3$)	$0,5$ ($-0,4$; $1,7$)	$<0,01$	$-1,9$ ($-2,5$; $-1,7$)	$-0,25$ ($-0,53$; $0,47$)	$<0,01$
Индекс Nakata	$104,2$ ($81,5$; $122,3$)	$208,6$ (173 ; 266)	$<0,01$	$107,3$ ($85,1$; $115,1$)	$169,4$ ($139,7$; $187,1$)	$<0,01$



Примечание/Note: КлЛА – клапан легочной артерии (PV – pulmonary valve); ПЛА – правая легочная артерия (RPA – right pulmonary artery); ЛЛА – левая легочная артерия (LPA – left pulmonary artery); РК – радикальная коррекция (CR – complete repair).

Рисунок 3. Развитие ветвей легочной артерии (по z score) за период наблюдения в группах стент и шунт. А, В – развитие ветвей легочной артерии в группе стент; С, D – развитие ветвей легочной артерии в группе шунт. Красной линией отмечена линия предикции развития легочной артерии

Figure 3. Development of pulmonary artery branches (according to z score) during the observation period in the stent and shunt groups. A, B – development of pulmonary artery branches in the stent group; C, D – development of pulmonary artery branches in the shunt group. The red line marks the line for predicting the development of the pulmonary artery



Примечание/Note: КлПА – клапан легочной артерии (PV – pulmonary valve); ПЛА – правая легочная артерия (RPA – right pulmonary artery); ЛПА – левая легочная артерия (LPA – left pulmonary artery); РК – радикальная коррекция (CR – complete repair).

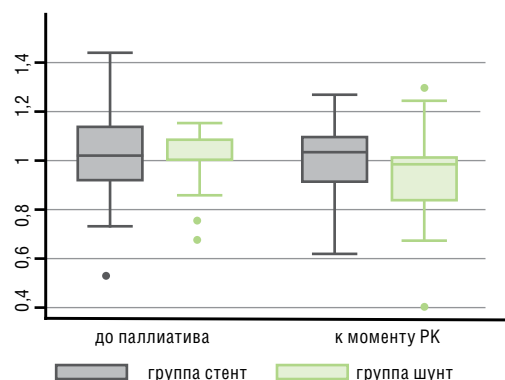
Прирост клПА (Δz score) = z score клПА перед РК – z score клПА до паллиатива (PV growth (Δz score) = z score PV before CR – z score PV before palliative procedures).

Рисунок 4. Межгрупповое сравнение развития ветвей легочной артерии от момента паллиативного лечения до радикальной коррекции
Figure 4. Between-group comparison of pulmonary arterial growth from palliative procedures to complete repair

С помощью соотношения диаметров ПЛА/ЛПА установлено, что после стентирования выходного отдела отмечается тенденция к более равномерному развитию ветвей легочной артерии, чем после формирования модифицированного шунта Блэлок-Тауссиг (рис. 5).

Для сравнительной оценки скорости роста центрального легочного русла в исследуемых группах выполнен анализ смешанной модели (табл. 3). В результате которой выявлено, что стентирование ВПЖ приводит к росту правой легочной артерии со скоростью $2,05 \cdot 10^{-2}$ z score/день, что в 3,01 раз превышает показатель в $0,68 \cdot 10^{-2}$ z score/день группы шунт. Скорость роста левой легочной артерии в группе стент $2,23 \cdot 10^{-2}$ z score/день, что в 1,47 раз больше, чем в группе шунт с показателем $1,56 \cdot 10^{-2}$ z score/день. Ни один из независимых предикторов (недоношенность, новорожденность, вес перед паллиативным лечением) достоверно не повлияли на скорость роста легочных артерий.

С целью определения факторов, влияющих на достижение индекса Nakata ≥ 200 $\text{мм}^2/\text{м}^2$ в исследуемых группах выполнена бинарная логистическая регрессия, в результате которой получено, что стентирование выходного отдела правого желудочка увеличивает шанс достижения индекса Nakata ≥ 200 $\text{мм}^2/\text{м}^2$ в 7,78 раз чаще, в сравнении с формированием модифицированного шунта Блэлок-Тауссиг. Результаты представлены в таблице 4.



Примечание/Note: РК – радикальная коррекция (CR – complete repair).

Рисунок 5. Равномерность развития ветвей легочных артерий (соотношение ПЛА/ЛПА) от момента паллиативной помощи до радикальной коррекции

Figure 5. Uniform of growth of the branch pulmonary arteries (RPA/LPA ratio) from palliative procedures to complete repair.

Межэтапный период

У одного пациента (4,8%) спустя 76 дней после стентирования выходного отдела правого желудочка зафиксировано тяжелое течение инфекционного процесса с развитием сепсиса, послужившим причиной летального исхода. В остальных случаях осложнений, приведших к госпитализации в межэтапном периоде, повторных реинтервенций не выявлено.

Радикальная коррекция

Отсроченная анатомическая коррекция выполнена у 20 пациентов группы стент в среднем спустя 97 (92;118) дней после паллиативного вмешательства и у 21 младенцев группы шунт спустя 109 (106;128) дней соответственно. Общие характеристики пациентов перед оперативным лечением представлены в таблице 5.

У пациентов 1-ой группы стент располагался на всем протяжении выходного отдела правого желудочка с вращением структур голометаллического стента в гипертрофированные

септо-париетальные трабекулы ВОПЖ. У 12 из 20 детей (55%) стент пересекал клапан легочной артерии, в оставшихся 9 (45%) случаях располагался изолированно в выходном отделе правого желудочка.

В обеих группах после паллиативного лечения сохранялась гипоплазия клапана легочной артерии с медианой z score $-3,2$ в группе стент и медианой z score $-3,1$ в группе шунт; створки клапана в большинстве случаев были представлены фиброзно измененными валиками. В связи с сохраняющейся выраженной гипоплазией, нативный клапан при радикальной коррекции во всех случаях был пересечен. Интраоперационно при ревизии, ранее имплантированные стенты не были деформированы, проходимы, покрыты фиброзной тканью по периметру. В процессе эксплантации стент постепенно иссекался из выходного отдела правого желудочка и извлекался из ствола легочной артерии без значимых технических проблем. В случае трансаннулярного расположения, одномоментно резецировались фи-

Таблица 3. Смешанная модель для сравнительной оценки скорости роста центрального легочного русла в исследуемых группах
Table 3. Mixed model analysis for comparison of the central pulmonary artery growth rate in the study groups)

	Ствол ЛА	р	ПЛА	р	ЛЛА	р
Группа стент (z score/день)	$2,15 \cdot 10^{-2}$	<0,01	$2,05 \cdot 10^{-2}$	<0,01	$2,3 \cdot 10^{-2}$	<0,01
Группа шунт (z score/день)	$1,23 \cdot 10^{-2}$	<0,01	$0,68 \cdot 10^{-2}$	0,02	$1,56 \cdot 10^{-2}$	<0,01
Отношение скорости роста легочной артерии группы стент/группы шунт	1,75		3,01		1,47	
Недоношенность	-0,337	0,49	0,17	0,68	0,22	0,5
Новорожденность	0,046	0,9	-0,27	0,5	-0,16	0,6

Примечание/Note: ЛА – легочная артерия (PA – pulmonary artery); ПЛА – правая легочная артерия (RPA – right pulmonary artery); ЛЛА – левая легочная артерия (LPA – left pulmonary artery)

Таблица 4. Бинарная логистическая регрессия для оценки факторов, влияющих на достижение индекса Nakata ≥ 200 мм²/м² к моменту отсроченной анатомической коррекции

Table 4. Binary logistic regression to assess factors influencing the achievement of a Nakata index ≥ 200 мм²/м² at the time of complete repair

Переменная	Однофакторный анализ		Многофакторный анализ	
	ОШ (95% ДИ)	р-значение	ОШ (95% ДИ)	р-значение
Возраст	0,986 (0,964; 1,007)	0,212	1,017 (0,983; 1,059)	0,354
Недоношенность	0,846 (0,107; 4,987)	0,858	0,200 (0,007; 3,066)	0,288
Группа	9,000 (2,180; 48,321)	0,004	7,777 (1,612; 49,924)	0,016
Длительность межэтапного периода	0,999 (0,991; 1,004)	0,641	0,998 (0,990; 1,003)	0,429

Таблица 5. Общая характеристика пациентов перед радикальной коррекцией

Table 5. Patient characteristics prior to complete repair

Характеристики	Группа стент	Группа шунт	р
Возраст, дней	151(136;192,5)	182(166;200)	0,08
Вес, кг	6,1(5,67;6,91)	6,2(5,7;6,6)	0,98
SatO ₂ , %	89,5(86;93)	83(78;85)	<0,01
ФВ ЛЖ, %	77(68,5;78,5)	71(68;73)	0,13
ФИП ПЖ, %	45(42;50)	45(43;50)	0,7
Диаметр ВОПЖ, мм	4,9(4,2;5)	3,2(3;4)	<0,01
Пиковый градиент давления ВОПЖ, мм рт. ст.	70(55;75)	100(85;110)	<0,01
Пиковый градиент клЛА, мм рт. ст.	80(67;92,5)	106(95;116)	<0,01

Примечание/Note: ВОПЖ – выходной отдел правого желудочка (RVOT – right ventricular outflow tract); клЛА – клапан легочной артерии (PV – pulmonary valve); ФВ ЛЖ – фракция выброса левого желудочка (LVEF – left ventricular ejection fraction); ФИП ПЖ – фракция выброса правого желудочка (RVEF – right ventricular ejection fraction)

брозированные створки клапана легочной артерии. У 12 (60%) из 20 пациентов группы стент и 15 (71,4%) из 21 детей группы шунт выполнена трансаннулярная пластика выходного отдела правого желудочка ($p=0,52$). У 8 детей (40%) группы стент и у 6 (28,6%) в группе шунт выполнено протезирование пути оттока в легочную артерию клапаносодержащим ксенокондуитом Contegra №12 (Medtronic, USA) ($p=0,52$). В связи с деформацией и стенозом легочной артерии в области ранее сформированного шунта, реконструкция пути оттока в легочную артерию дополнялась пластикой стенозированной ветви.

В группе шунт длительность операции была достоверно дольше ($p=0,046$), в сравнении с группой стент, что обусловлено спячным процессом в полости перикарда (табл. 6). Однако учитывая дополнительную трату времени на эксплантацию стента из выходного отдела правого желудочка – длительность окклюзии аорты, искусственного кровообращения в группе стент достоверно больше ($p<0,01$ и $p<0,01$ соответственно). В связи с развитием выраженной правожелудочковой недостаточности в раннем послеоперационном периоде у одного пациента группы стент (5%) и еще одного – группы шунт (4,8%) после трансаннулярной пластики, потребовалась установка экстракорпоральной мембранной оксигенации (в течение 10 дней пациенту группы стент и в течение 5 дней – в группе шунт) с дальнейшим благоприятным исходом. Также в исследуемых группах зарегистрировано по одному случаю стентирования ветвей легочных артерий после протезирования легочной артерии. В группе шунт в одном случае (4,8%) потребовалась пликация левого купола диафрагмы на 8-е сутки после операции. За период стационарного лечения летальных исходов не выявлено ($p>0,99$).

ОБСУЖДЕНИЕ

Стентирование выходного отдела правого желудочка является потенциально достойной альтернативой формированию модифицированного шунта Блэлок-Тауссиг, обладая такими преимуществами как: антеградный пульсирующий ток венозной крови в легочное русло с большим насыщением артериальной крови кислородом; быстрая стабилизация гемодинамики и перфузии органов за счет отсутствия снижения диастолического артериального давления [2,4,21-24].

В рамках нашего проспективного двухцентрового рандомизированного исследования проведена сравнительная оценка результатов двух методов паллиативной помощи – стентирования выходного отдела правого желудочка и формирования модифицированного шунта Блэлок-Тауссиг. С изучением их влияния на развитие легочного русла, описанием крупных кардиоваскулярных событий в межэтапном периоде и оценкой непосредственных результатов радикальной коррекции.

Ряд исследований подтверждает, что стентирование выходного отдела правого желудочка при критической форме тетрады Фалло является эффективной и безопасной процедурой с летальностью 0% [Sandoval J. P. et al], 1,7% [Quandt D, et al] в раннем послеоперационном периоде. А результаты отсроченного хирургического лечения после стентирования ВОПЖ сопоставимы с данными первичной анатомической коррекции детей более старшей возрастной группы [25]. В нашем исследовании летальность в раннем послеоперационном периоде после паллиативного лечения также составила 0%. Отмечен лишь 1 летальный исход (4,8%) в межэтапном периоде у пациента группы стент, связанный с некардиальной патологией.

В остальном больших кардиоваскулярных событий в исследуемых группах в межэтапном периоде не выявлено. Однако в литературе описаны случаи сохраняющейся десатурации после стентирования ВОПЖ, обусловленной образующейся обструкцией в проксимальной части выводного тракта правого желудочка, деформирующей соответствующий участок стента. В подобных ситуациях проводилась баллонная ангиопластика либо установка еще одного стента с заходом на предыдущий [2,5-8,25]. Ряд авторов приводят случаи сохраняющейся десатурации после стентирования ВОПЖ, потребовавшие дополнительного формирования мБТШ [7,25]. В свою очередь после формирования мБТШ отмечены случаи тромбоза, требовавшие повторного формирования шунта либо стентирования пути оттока в легочную артерию [3,7,8].

При оценке влияния обоих методов паллиативного лечения на рост легочного русла в работе показано, что стентирование выходного отдела правого желудочка приводит к более быстрому, значимому и равномерному развитию легочного рус-

Таблица 6. Интраоперационные и послеоперационные показатели
Table 6. Intraoperative and postoperative variables

Характеристики	Группа стент	Группа мБТШ	p
Окклюзия аорты, часов	71 (64;85)	41 (30;48)	<0,01
Длительность искусственного кровообращения, часов	104 (96;130,5)	77 (63;85)	<0,01
Длительность операции, часов	241 (180;290)	315 (270;360)	0,046
Длительность инотропной поддержки, часов	38 (10;60)	36 (24;72)	0,4
Длительность ИВЛ, часов	15,5 (4;43)	24(24;36)	0,04
Длительность лечения в ОРИТ, дней	3 (2;5)	2 (2;3)	0,08
ФВ ЛЖ, %	70,5 (61;75)	68 (65;73)	0,8
ФИП ПЖ, %	48(45,5;50)	45(42;50)	0,2
Градиент давления ВОПЖ/ЛА, мм рт. ст.	16 (9;24)	16 (11;19)	0,8
Осложнения, n (%)	2 (10%)	3 (14%)	0,9
Длительность госпитализации, дней	15 (12;20)	16 (15;22)	0,2

Примечание/Note: ИВЛ – искусственная вентиляция легких (ALV – artificial lung ventilation); ОРИТ – отделение реанимации (ICU – intensive care unit); ВОПЖ – выходной отдел правого желудочка (RVOT – right ventricular outflow tract); ЛА – легочная артерия (PA – pulmonary artery); ПЛА – правая легочная артерия (RPA – right pulmonary artery); ЛЛА – левая легочная артерия (LPA – left pulmonary artery)

ла в сравнении с формированием модифицированного шунта Блэлок-Тауссиг (рис. 4, 5, табл. 1). За период наблюдения в группе стент прирост правой легочной артерии (Δz score) составил 2,2, что достоверно больше чем в группе шунт с показателем в 1,1. Аналогичная картина наблюдается с левой легочной артерией: в группе стент Δz score 2,6, что достоверно превышает показатель группы шунт в 1,6. С помощью смешанной модели также установлено, что скорость роста правой и левой легочных артерий достоверно больше в группе стент (табл. 3). В ретроспективных исследованиях ряда авторов [Quandt и соавт.; McGovern и соавт.; Dohlen и соавт.; Stumper и соавт.] приведены аналогичные результаты, подтверждающие более быстрый и равномерный рост ветвей легочных артерий после стентирования пути оттока в легочную артерию. В работах группы авторов из Торонто описано, что у 80% пациентов на момент стентирования пути оттока в легочную артерию индекс Nakata был $<100 \text{ мм}^2/\text{м}^2$, в то время как к этапу радикальной коррекции только у 16% детей индекс Nakata оставался меньше $100 \text{ мм}^2/\text{м}^2$ [25]. В исследовании Dohlen и соавт. описано увеличение индекса Nakata в среднем с $56 \text{ мм}^2/\text{м}^2$ (21–77) до $150 \text{ мм}^2/\text{м}^2$ (123–231) [5]. В нашем исследовании в группе стент прирост (Δ) индекса Nakata составил $105,2 \text{ мм}^2/\text{м}^2$, что достоверно больше чем в группе шунт с показателем $58,2 \text{ мм}^2/\text{м}^2$. По результатам бинарной логистической регрессии отмечено, что стентирование увеличивает шанс достижения индекса Nakata $\geq 200 \text{ мм}^2/\text{м}^2$ в 7,78 раз чаще, в сравнении с формированием модифицированного шунта Блэлок-Тауссиг.

Одним из немаловажных вопросов является реконструкция выходного отдела правого желудочка при отсроченной радикальной коррекции. Коллеги из Бирменгема в одноцентровом ретроспективном исследовании описывают, что тип реконструкции выходного отдела правого желудочка после стентирования ВОПЖ или формирования МБТШ был схожим [7]. В 58% случаев после стентирования ВОПЖ и 59% после формирования МБТШ выполнена трансаннулярная пластика выходного отдела правого желудочка. В 30% после стентирования и 31% после формирования шунта выполнено протезирование легочной артерии. Также отмечено, что число пластических вмешательств на ветвях легочных артерий после стентирования ВОПЖ меньше (15%), в сравнении с результатами после формирования МБТШ (31%).

По результатам нашего исследования тип реконструкции пути оттока в легочную артерию в исследуемых группах статистически не отличался. В 12 (60%) случаях из 20 в группе стент и 15 (71,4%) из 21 – в группе шунт выполнена трансаннулярная пластика выходного отдела правого желудочка. У 8 детей (40%) группы стент и у 6 (28,6%) в группе шунт выполнено протезирование пути оттока в легочную артерию. Выбор способа реконструкции был обусловлен оценкой риска развития правожелудочковой недостаточности. У всех пациентов группы шунт потребовалось дополнительное пластическое вмешательство на стенозированной после формирования МБТШ легочной артерии. В одном случае у пациента группы стент после протезирования легочной артерии выявлены устьевого стенозы ветвей легочной артерии, потребовавшие дополнительного стентирования. При межгрупповом сравнении длительность операции радикальной коррекции в группе стент была достоверно короче. В то время как длительность окклюзии аорты и искусственного кровообращения достоверно выше в группе стентирования ВОПЖ, что можно объяснить дополнительным временем, необходимым для эксплантации стента из выходного отдела правого желудочка.

Ограничения исследования

Учитывая слишком малый процент детей с тяжелой формой тетрады Фалло, размер выборки в рамках проспективного рандомизированного исследования ограничен 21 пациентом в каждой группе. Что может быть не достаточным для определения наличия или отсутствия разницы в некоторых исследуемых параметрах и ограничивать значимость полученных результатов.

Заключение

Стентирование выходного отдела правого желудочка является безопасной процедурой, обеспечивающей более быстрое, значимое и равномерное развитие легочного русла в сравнении с формированием модифицированного шунта Блэлок-Тауссиг.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ/ REFERENCES:

1. Al Habib HF, Jacobs JP, Mavroudis C, Tchervenkov CI, O'Brien SM, Mohammadi S, Jacobs ML. Contemporary patterns of management of tetralogy of Fallot: data from the Society of Thoracic Surgeons Database. *Ann Thorac Surg.* 2010 Sep;90(3):813–820. <https://doi.org/10.1016/j.athoracsur.2010.03.110>
2. Barron DJ. Tetralogy of Fallot: controversies in early management. *World J Pediatr Congenit Heart Surg.* 2013 Apr;4(2):186–191. <https://doi.org/10.1177/2150135112471352>
3. Petrucci O, O'Brien SM, Jacobs ML, Jacobs JP, Manning PB, Eghtesady P. Risk factors for mortality and morbidity after the neonatal Blalock-Taussig shunt procedure. *Ann Thorac Surg.* 2011 Aug;92(2):642–652. <https://doi.org/10.1016/j.athoracsur.2011.02.030>
4. Quandt D, Ramchandani B, Stickley J, Mehta C, Bhole V, Barron DJ, Stumper O. Stenting of the Right Ventricular Outflow Tract Promotes Better Pulmonary Arterial Growth Compared With Modified Blalock-Taussig Shunt Palliation in Tetralogy of Fallot-Type Lesions. *JACC Cardiovasc Interv.* 2017 Sep 11;10(17):1774–1784. <https://doi.org/10.1016/j.jcin.2017.06.023>
5. Dohlen G, Chaturvedi RR, Benson LN, Ozawa A, Van Arsdell GS, Fruitman DS, Lee KJ. Stenting of the right ventricular outflow tract in the symptomatic infant with tetralogy of Fallot. *Heart.* 2009 Feb;95(2):142–147. <https://doi.org/10.1136/hrt.2007.135723>
6. Stumper O, Ramchandani B, Noonan P, Mehta C, Bhole V, Reinhardt Z, Dhillon R, Miller PA, de Giovanni JV. Stenting of the right ventricular outflow tract. *Heart.* 2013 Nov;99(21):1603–1608. <https://doi.org/10.1136/heartjnl-2013-304155>
7. Quandt D, Ramchandani B, Penford G, Stickley J, Bhole V, Mehta C, Jones T, Barron DJ, Stumper O. Right ventricular outflow tract stent versus BT shunt palliation in Tetralogy of Fallot. *Heart.* 2017 Dec;103(24):1985–1991. <https://doi.org/10.1136/heartjnl-2016-310620>
8. Barron DJ, Jegatheeswaran A. How and When Should Tetralogy of Fallot be Palliated Prior to Complete Repair? *Semin Thorac Cardiovasc Surg Pediatr Card Surg Annu.* 2021;24:77–84. <https://doi.org/10.1053/j.pcsu.2021.02.002>
9. François Godart; Shakeel A Qureshi; Ary Simha; Philip B Deverall; David R Anderson; Edward J Baker; Michael Tynan (1998). Effects of modified and classic Blalock-Taussig shunts on the pulmonary arterial tree. *Ann Thorac Surg.* 1998 Aug;66(2):512–7; discussion 518. [https://doi.org/10.1016/s0003-4975\(98\)00461-5](https://doi.org/10.1016/s0003-4975(98)00461-5)
10. Joseph Caspi; Timothy W. Pettitt; Theodorus Mulder; Aluizio Stopa. Development of the Pulmonary Arteries After the Norwood Procedure: Comparison Between Blalock-Taussig Shunt and Right Ventricular–Pulmonary Artery Conduit. *Ann Thorac Surg.* 2008 Oct;86(4):0–1304. <https://doi.org/10.1016/j.athoracsur.2008.06.016>
11. Rumball, Elizabeth M., McGuirk, Simon P., Stümper, Oliver, Laker, Simon J., de Giovanni, Joseph V., Wright, John G., Barron, David J., Brawn, William J. The RV–PA conduit stimulates better growth of the pulmonary arteries in hypoplastic left heart syndrome. *European Journal of Cardio-Thoracic Surgery.* Eur J Cardiothorac Surg. 2005 May;27(5):801–806. <https://doi.org/10.1016/j.ejcts.2005.01.061>
12. Jay D. Pruetz; Sarah Badran; Fred Dorey; Vaughn A. Starnes; Alan B. Lewis. Differential branch pulmonary artery growth after the Norwood procedure with right ventricle–pulmonary artery conduit versus modified Blalock–Taussig shunt in hypoplastic left heart syndrome.

- J Thorac Cardiovasc Surg.* 2009 Jun;137(6):1342–1348. <https://doi.org/10.1016/j.jtcvs.2009.03.019>
13. Andrew C. Fiore; Courtney Tobin; Saadeh Jureidini; Mohammad Rahimi; Eric S. Kim; Kenneth Schowengerdt. A Comparison of the Modified Blalock-Taussig Shunt With the Right Ventricle-to-Pulmonary Artery Conduit. *Ann Thorac Surg.* 2011 May;91(5):1479–1485. <https://doi.org/10.1016/j.athoracsur.2010.11.062>
 14. Jo T. K. et al. Outcome of neonatal palliative procedure for pulmonary atresia with ventricular septal defect or tetralogy of Fallot with severe pulmonary stenosis: experience in a single tertiary center. *Korean J Pediatr.* 2018 Jul;61(7):210–216. <https://doi.org/10.3345/kjp.2018.61.7.210>
 15. Zheng S., Yang K., Li K., Li S. Establishment of right ventricle-pulmonary artery continuity as the first-stage palliation in older infants with pulmonary atresia with ventricular septal defect may be preferable to use of an arterial shunt. *Interact Cardiovasc Thorac Surg.* 2014 Jul;19(1):88–94. <https://doi.org/10.1093/icvts/ivu052>
 16. Lenoir M. et al. Outcomes of palliative right ventricle to pulmonary artery connection for pulmonary atresia with ventricular septal defect. *European Journal of Cardio-Thoracic Surgery.* 2017;52(3):590–598. <https://doi.org/10.1093/ejcts/ezx194>
 17. Di Donato, Roberto M.; Jonas, Richard A.; Lang, Peter; Rome, Jonathan J.; Mayer, John E.; Castaneda, Aldo R. Neonatal repair of tetralogy of Fallot with and without pulmonary atresia. *The Journal of Thoracic and Cardiovascular Surgery.* 1991; 101(1):126–137. [https://doi.org/10.1016/s0022-5223\(19\)36802-3](https://doi.org/10.1016/s0022-5223(19)36802-3)
 18. Audrey C Marshall; Barry A Love; Peter Lang; Richard A Jonas; Pedro J del Nido; John E Mayer; James E Lock. Staged repair of tetralogy of Fallot and diminutive pulmonary arteries with a fenestrated ventricular septal defect patch. *J Thorac Cardiovasc Surg.* 2003 Nov;126(5):1427–1433. [https://doi.org/10.1016/s0022-5223\(03\)01182-6](https://doi.org/10.1016/s0022-5223(03)01182-6)
 19. Chubb, Henry; Simpson, John M. The use of Z-scores in paediatric cardiology. *Annals of Pediatric Cardiology.* 2012;5(2):179–84. <https://doi.org/10.4103/0974-2069.99622>
 20. Pettersen, Michael D.; Du, Wei; Skeens, Mary Ellen; Humes, Richard A. Regression Equations for Calculation of Z Scores of Cardiac Structures in a Large Cohort of Healthy Infants, Children, and Adolescents: An Echocardiographic Study. *Journal of the American Society of Echocardiography.* 2008 Aug;21(8):922–934. <https://doi.org/10.1016/j.echo.2008.02.006>
 21. Dryzek P, Mazurek-Kula A, Moszura T, Sysa A. Right ventricle outflow tract stenting as a method of palliative treatment of severe tetralogy of Fallot. *Cardiol J.* 2008;15(4):376–9. PMID: 18698548
 22. Cools, Bjorn; Boshoff, Derize; Heying, Ruth; Rega, Filip; Meyns, Bart; Gewillig, Marc. Transventricular balloon dilation and stenting of the RVOT in small infants with tetralogy of fallot with pulmonary atresia. *Catheterization and Cardiovascular Interventions.* 2013 Aug 1;82(2):260–265. <https://doi.org/10.1002/ccd.24548>
 23. Niall Linnane, Mohamed Al Nasef, Colin J. McMahon, Jonathan McGuinness, Brian McCrossan, Paul Oslizlok, Kevin P. Walsh, Damien Kenny. Right ventricular outflow tract stenting in symptomatic infants without the use of a long delivery sheath. *Catheterization and Cardiovascular Interventions.* 2021;98(2):275–281. <https://doi.org/10.1002/ccd.29708>
 24. Nokhrin, Andrey V.; Tarasov, Roman S.; Mukhamadiyarov, Rinat A.; Shishkova, Daria K.; Kutikhin, Anton G.; Dzyuman, Anna N.; Khlusov, Igor A.; Barbarash, Leonid S. Two stage approach for surgical treatment of tetralogy of Fallot in underweight children: Clinical and morphological outcomes. *Journal of Cardiac Surgery.* 2019;34(5):293–299. <https://doi.org/10.1111/jocs.14031>
 25. Sandoval, Juan Pablo; Chaturvedi, Rajiv R.; Benson, Lee; Morgan, Gareth; Van Arsdell, Glen; Honjo, Osami; Caldarone, Christopher; Lee, Kyong-Jin. Right Ventricular Outflow Tract Stenting in Tetralogy of Fallot Infants With Risk Factors for Early Primary Repair. *Circulation: Cardiovascular Interventions.* 2016 Dec;9(12):e003979. <https://doi.org/10.1161/circinterventions.116.003979>
 26. Zhou Tingwen; Wang Yixuan; Liu Junwei; Wang Yin; Wang Yongjun; Chen Si; Zhou Cheng; Dong Nianguo. Pulmonary artery growth after Modified Blalock-Taussig shunt: A single center experience. *Asian Journal of Surgery.* 2020;43(2):428–437. <https://doi.org/10.1016/j.asjsur.2019.06.002>