

© А.А. Ляпин, Р.С. Тарасов, 2025

УДК 616.12-053.1–089.844

А.А. Ляпин ✉, Р.С. Тарасов

Трансаннулярная пластика при радикальной коррекции тетрады Фалло – что дальше?

ФГБНУ «Научно-исследовательский институт комплексных проблем сердечно-сосудистых заболеваний», Кемерово, Российская Федерация

✉ Ляпин Антон Александрович, канд. мед. наук, сердечно-сосудистый хирург; orcid.org/0000-0002-1661-1135, e-mail: lyapin11@mail.ru

Тарасов Роман Сергеевич, д-р мед. наук, доцент, заведующий лабораторией рентгенэндоваскулярной и реконструктивной хирургии сосудов и сердца; orcid.org/0000-0003-3882-709X

Резюме

Проведен анализ современной мировой литературы за период с 2017 по 2024 г., посвященной проблеме недостаточности клапана легочной артерии у детей, которым выполнялась радикальная коррекция тетрады Фалло с трансаннулярной пластикой. В рамках обзора проведена оценка современных подходов к диагностике и лечению данной когорты пациентов, рассмотрены основные осложнения, динамика состояния пациентов после вмешательства, а также отдаленный прогноз. Основные базы данных, используемые для поиска информации и написания обзора: e-library, National library of medicine, Pubmed.gov, платформа Nature, платформа Springer materials, PLOS (Public Library of Science).

Ключевые слова: тетрада Фалло, трансаннулярная пластика, регургитация на клапане легочной артерии

Для цитирования: Ляпин А.А., Тарасов Р.С. Трансаннулярная пластика при радикальной коррекции тетрады Фалло – что дальше? *Креативная кардиология*. 2025; 19 (2): 146–154. DOI: 10.24022/1997-3187-2025-19-2-146-154

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Финансирование. Работа выполнена в рамках государственного задания (тема № 0419-2024-0002 «Периоперационные нейропротективные стратегии в хирургии врожденных пороков сердца»).

Поступила 24.03.2025

Поступила после рецензирования 28.03.2025

Принята к печати 07.04.2025

А.А. Lyapin ✉, R.S. Tarasov

Transannular plastic surgery for radical correction of Fallot's tetrad – what is next?

Research Institute for Complex Issues of Cardiovascular Diseases, Kemerovo, Russian Federation

✉ Anton A. Lyapin, Cand. Med. Sci., Cardiovascular Surgeon; orcid.org/0000-0002-1661-1135, e-mail: lyapin11@mail.ru
Roman S. Tarasov, Dr. Med. Sci., Head of the laboratory of X-ray endovascular and reconstructive cardiovascular surgery; orcid.org/0000-0003-3882-709X

Abstract

This review analyzes the current world literature on the identified problem of pulmonary artery valve insufficiency in a child who underwent radical correction of Fallot's tetrad with transannular plastic surgery. The review assessed modern approaches to diagnosis and treatment of this cohort of patients, considered the main complications, the dynamics of the patients' condition after the intervention, and the long-term prognosis. An analysis of the literature was conducted for the period from 2017 to 2024. The main databases used to search for information and write the review: e-library, National library of medicine, Pubmed.gov, Nature platform, Springer materials platform, PLOS (Public Library of Science).

Keywords: Fallot's tetrad, transannular plastic, regurgitation on the pulmonary artery valve

For citation: Lyapin A. A., Tarasov R.S. Transannular plastic surgery for radical correction of Fallot's tetrad – what is next? *Creative Cardiology*. 2025; 19 (2): 146–154 (in Russ.). DOI: 10.24022/1997-3187-2025-19-2-146-154

Conflict of interest. The authors declare no conflict of interest.

Funding. The work was carried out within the framework of a state assignment (topic No. 0419-2024-0002 “Perioperative neuroprotective strategies in surgery for congenital heart defects”).

Received March 24, 2025

Revised March 28, 2025

Accepted April 07, 2025

Введение

Тетрада Фалло (ТФ) является самым распространенным цианотическим врожденным пороком сердца (ВПС) в мире, частота встречаемости которого составляет 0,34 на 1000 живорожденных [1]. На сегодняшний день 30-летняя выживаемость детей после радикальной коррекции (РК) ТФ находится в диапазоне от 68,5 до 90,5%, и по достижении совершеннолетнего возраста таких пациентов перестают лечить детские кардиологи [2]. При проведении РК ТФ часто требуется выполнение трансаннулярной пластики выводного отдела правого желудочка (ВОПЖ), что приводит к хронической легочной регургитации непосредственно после завершения операции. И в долгосрочной перспективе у данных пациентов сохраняются такие осложнения, как регургитация на клапане легочной артерии (кЛА), обструкция ВОПЖ, остаточные шунты на перегородках сердца, дисфункция правого желудочка (ПЖ) и аритмии. Все еще нет ясности в выборе оптимального времени, метода и вида коррекции недостаточности кЛА.

Целью данного обзора явился анализ современного подхода к диагностике и лечению/наблюдению (ведению) категории пациентов с остаточной регургитацией на кЛА после проведенной радикальной коррекции ТФ согласно выполненному анализу мировой литературы.

Проведен анализ литературы в период с 2017 по 2024 г. Основные базы данных, используемые для поиска информации и написания обзора: e-library, National library of medicine, Pubmed. gov, платформа Nature, платформа Springer materials, PLOS (Public Library of Science).

Подходы к диагностике остаточной регургитации на клапане легочной артерии после коррекции тетрады Фалло

У взрослой популяции пациентов, оперированных по поводу ТФ, могут встречаться

стенозы легочной артерии (в том числе и ее ветвей) – в 40% случаев, аневризма восходящего отдела аорты с регургитацией на аортальном клапане – в 15% случаев, резидуальные шунты – в 10% случаев и аномальное отхождение коронарных артерий – в 8% случаев [3]. Визуализация сердечных структур при инструментальных методах обследования у пациентов после РК ТФ будет зависеть от вида коррекции. После трансаннулярной пластики визуализируется характерное увеличение участка ВОПЖ и ствола ЛА (в виде «аневризмы») с акинезией стенок из-за фиброзной ткани. Кроме того, стоит не забывать об истории развития хирургии ТФ: сперва она состояла из паллиативных вмешательств, и на сегодняшний день все еще существуют взрослые пациенты с шунтами Поттса или Блелока–Тауссига.

Эхокардиография

Оценка структурных изменений и функции ПЖ с помощью двумерной (2D) трансторакальной эхокардиографии (ЭхоКГ) затруднена в связи с его асимметричной и сложной пирамидальной формой, ретростернальным расположением ПЖ, ограничениями в определении эндокардиальной поверхности. Превосходство трехмерной (3D) ЭхоКГ по сравнению с 2D-ЭхоКГ при оценке систолической функции ПЖ заключается в точном анализе объемов ПЖ, в независимости от его размера и формы, ракурса и геометрических особенностей. Согласно данным исследований, объемы и фракция выброса ПЖ по данным 3D-ЭхоКГ имеет высокую корреляцию с магнитно-резонансной томографией (МРТ), и значительно лучшую сопоставимость и более низкую интраобсервационную и межобсервационную вариабельность при сравнении с 2D-ЭхоКГ [4]. Бессимптомным пациентам после РК ТФ ЭхоКГ следует проводить каждые 2 года, в то время как пациентам со значимой регургитацией на кЛА рекомендовано обследоваться ежегодно [5].

При проведении трансторакальной ЭхоКГ очень важна точная оценка регургитации

на кЛА — универсального показателя, который является основной причиной дилатации и дисфункции ПЖ. Маркеры тяжелой легочной регургитации включают: дилатацию ПЖ, величину периода полуспада давления струи легочной регургитации менее 100 мс, время замедления спектра доплеровского сигнала легочной регургитации менее 260 мс, отношение ширины струи легочной регургитации к кольцу кЛА больше 0,7, фракцию регургитации более 40% [6]. Также было показано, что показатель систолической экскурсии кольца трикуспидального клапана (TAPSE) значимо ниже при ТФ и постепенно снижается после операции по сравнению с таковым в контрольной группе детей без структурного поражения сердца, сопоставимой по возрасту [7]. Точная оценка размера и функции ПЖ часто невозможна даже при 3D-ЭхоКГ исследовании. Поэтому МРТ остается предпочтительным методом количественной оценки ПЖ у большинства пациентов [8].

Магнитно-резонансная томография

В клинической практике основным преимуществом МРТ по сравнению с ЭхоКГ является более точная оценка размера и функции желудочков сердца. Данная методика позволяет точно измерить объем регургитации при недостаточности кЛА (объем больше 40% считают признаком тяжелой степени заболевания). МРТ с гадолинием выявляет очаговый фиброз и является маркером риска дисфункции ПЖ, желудочковых аритмий и внезапной сердечной смерти после коррекции ТФ. Таким образом, измерения объема диффузного фиброза ПЖ могут помочь стратифицировать риск для пациентов после РК ТФ [9].

Фракция внеклеточного объема — показатель диффузного фиброза миокарда, который заметно повышается при гемодинамической перегрузке ПЖ объемом. Для расчета доли фракции внеклеточного объема в миокарде необходимо измерить время T1-релаксации миокарда до и после введения контрастных веществ. Небольшие исследования демон-

стрируют корреляцию между перегрузкой объемом и увеличением бивентрикулярной фракции внеклеточного объема с неблагоприятными сердечными явлениями, такими как сердечная недостаточность и желудочковые аритмии [9].

Основным недостатком МРТ является более высокая стоимость по сравнению с ЭхоКГ. Кроме того, у некоторых пациентов могут быть установлены электрокардиостимуляторы или дефибрилляторы, в таких случаях проведение МРТ противопоказано.

Мультиспиральная компьютерная томография (МСКТ)

МСКТ обладает самым высоким разрешением из всех методов визуализации и позволяет более детально оценить анатомию дистальных ветвей легочной артерии и больших аортолегочных коллатералей, анатомию коронарных артерий, что важно при планировании вмешательства на ВОПЖ. МСКТ используется для точного измерения ВОПЖ перед транскатетерным протезированием кЛА. Основным недостатком МСКТ является то, что пациент подвергается воздействию ионизирующего излучения, а это увеличивает риск развития рака, также контрастные вещества повышают риск повреждения почек у некоторых пациентов [10].

Ангиография

Катетеризацию полостей сердца следует выполнять только тем пациентам, которым планируется выполнение чрескожных вмешательств (коррекция дистального стеноза ЛА, чрескожная имплантация клапана), а также при недостаточной информативности неинвазивных методов обследования [5].

Патофизиологические аспекты развития правожелудочковой дисфункции

Понимание релаксации ПЖ при ТФ довольно ограничено. В небольших когорт-

ных исследованиях нарушения релаксации ПЖ и физиологические ограничения наблюдались до 50% случаев после операции [11]. Физиология рестриктивного ПЖ определяется как увеличение позднего диастолического потока в ЛА во время систолы предсердий и ассоциируется с неблагоприятными клиническими исходами, включая снижение сердечного выброса, длительную инотропную поддержку и более длительное пребывание в отделении интенсивной терапии после протезирования ВОПЖ [12].

При выполнении катетеризации правых камер сердца у пациентов с ТФ была выявлена связь между повышенным давлением в правом предсердии и неблагоприятными сердечно-сосудистыми событиями, такими как снижение толерантности к физическим нагрузкам, сердечная недостаточность и желудочковые аритмии [13]. Аномальная релаксация ПЖ, измеряемая расширением нижней полой вены, аномальное изменение диастолического кровотока в печеночной вене и антеградный диастолический кровоток в ЛА потенциально позволяют выявить пациентов с риском неблагоприятных клинических исходов, которым может быть показано раннее протезирование ВОПЖ [14].

Дилатация ПЖ ведет к расширению фиброзного кольца трехстворчатого клапана и регургитации на нем, которая, в свою очередь, усугубляет дилатацию ПЖ. В первые годы после операции у пациентов, которым выполняли трансаннулярную пластику ВОПЖ, сохраняется высокое компенсаторное ремоделирование по отношению к регургитации на кЛА, но со временем развиваются симптоматическая дилатация и дисфункция ПЖ, что в свою очередь ведет к снижению толерантности к физическим нагрузкам и осложнениям в виде удлинения интервала QRS и нарушений сердечного ритма, которые могут привести к летальному исходу [5].

На сегодняшний день уже было показано, что своевременное протезирование ВОПЖ приводит к улучшению клинической картины, укорочению интервала QRS, обратному ремоделированию ПЖ и уменьшению регур-

гитации на трикуспидальном клапане. Однако когда протезирование ВОПЖ выполняется слишком поздно, ремоделирование и дисфункция ПЖ становятся необратимыми [15].

В исследовании В. Dobbels et al. было отмечено, что размер ПЖ значительно меньше, его функция лучше, и продолжительность QRS значительно короче у пациентов, перенесших протезирование ВОПЖ до достижения 16 лет, в сравнении с пациентами, перенесшими вмешательство на кЛА после 16-летнего возраста [15]. Из этого следует, что раннее вмешательство на ВОПЖ улучшает клинические исходы у пациентов со значимой регургитацией на кЛА. Функция левого желудочка, как и смертность от всех причин, существенно не отличается у пациентов с ранним и поздним протезированием [5].

Сроки и показания к протезированию выводного отдела правого желудочка

Показания и сроки проведения протезирования ВОПЖ широко описаны в литературе. В рекомендациях, опубликованных крупнейшими сердечно-сосудистыми обществами в Соединенных Штатах, показаниями для проведения операции на кЛА являются симптомы сердечной недостаточности – уровень рекомендаций I класса [5]. Однако клинические проявления могут прогрессировать медленно на протяжении десятилетий, и за это время пациенты часто приспосабливаются к снижению толерантности к физическим нагрузкам. Более того, при появлении симптомов у пациентов уже часто наблюдается необратимая дисфункция ПЖ. И именно поэтому многие пациенты обращаются за повторным вмешательством поздно из-за неспецифичной или невыраженной клинической картины. Показаниями к протезированию ВОПЖ считаются достижение индексированного конечного диастолического объема ПЖ до 160 мл/м², или индексированного конечного систолического объема ПЖ до 80 мл/м². Это пороговые значения, после которых обратное ремоделирование ПЖ будет происходить заметно хуже [5].

Было обнаружено, что дооперационная фракция выброса ПЖ <45%, по данным 3D-ЭхоКГ, связана с сохраняющейся дисфункцией ПЖ. Рекомендации, предложенные T. Geva, основаны на исследованиях, в которых анализировались маркеры нормализации размера и/или функции желудочков до протезирования ВОПЖ и после проведения вмешательства [16].

Показания к протезированию ВОПЖ:

I. Наличие у бессимптомных пациентов 2 или более из следующих признаков:

- индексированное значение конечного диастолического объема ПЖ > 150 мл/м² или Z-Score > 4;
- индексированное значение конечного систолического объема ПЖ > 80 мл/м²;
- фракция выброса ПЖ < 47%;
- фракция выброса ЛЖ < 55%;
- большая аневризма ПЖ;
- длительность QRS > 160 мс;
- устойчивая тахикардия, связанная с объемной нагрузкой на правые отделы сердца;
- другие гемодинамически значимые нарушения: обструкция ПЖ с систолическим давлением в ПЖ $\geq 0,7$ системного давления; тяжелый стеноз ветви ЛА (<30% потока в пораженное легкое), не поддающийся транскатетерной пластике; умеренная регургитация на трикуспидальном клапане; шунт слева направо из-за остаточных дефектов межпредсердной или межжелудочковой перегородки с соотношением Qp/Qs $\geq 1,5$; тяжелая аортальная регургитация;

II. Наличие у симптоматических пациентов 1 или более из критериев, подробно описанных выше. Примеры симптомов: непереносимость физических нагрузок, подтвержденная результатами нагрузочного тестирования; признаки и симптомы сердечной недостаточности (одышка при незначительной физической нагрузке или в покое, периферические отеки); обмороки, вызванные аритмией [16].

Также уровень мозгового натрийуретического пептида (BNP) может быть исполь-

зован в качестве инструмента для определения показаний к проведению протезирования ВОПЖ. В своем исследовании A. Kitagawa et al. предположили, что оптимальным пороговым значением уровня BNP для протезирования ВОПЖ является 32,15 пг/мл (с чувствительностью 85,7% и специфичностью 83,3%), поскольку у этих пациентов наблюдалась выраженная сердечная недостаточность [17]. По данным литературы, средний возраст пациентов, которым показано протезирование ВОПЖ, значительно различается в разных исследованиях. C. Lim et al. установили, что протезирование ВОПЖ выполнялось в среднем через 8,3 года после РК ТФ [18]. A. Borowski et al. отметили, что среднее время от РК ТФ до протезирования ВОПЖ составило 18,5 года. Возможно, такой длительный период связан с тем, что недостаточность кЛА 3-й степени проявлялась только через 11,8 года после проведения РК ТФ [19]. Однако в исследовании J.L. Romeo et al. было отмечено, что средний возраст операции протезирования ВОПЖ составляет 28 лет [20]. Важно помнить, что эти возрастные различия могут варьировать в зависимости от региона и существующих стандартов обследования, поэтому может возникнуть необходимость сократить временные рамки для проведения операции.

Виды хирургического лечения пациентов с легочной регургитацией

При проведении РК ТФ многим пациентам из-за выраженной гипоплазии кЛА требуется выполнение трансаннулярной пластики, что в свою очередь обрекает пациента на будущие повторные оперативные вмешательства. Этому есть множество причин: активный рост ребенка (особенно при использовании небольших имплантатов); дегенерация биологических тканей с выраженным кальцинозом и стенозом; сужение анастомоза после имплантации гомотрансплантата или ксенотрансплантата. Именно поэтому кЛА является самым часто заменяемым сердечным клапаном при ВПС [21].

На сегодняшний день в арсенале кардиохирургов имеются два способа протезирования кЛА – хирургический и эндоваскулярный. Основным недостатком имплантатов является ограниченная долговечность биологических клапанов. Ткань ксенотрансплантата со временем имеет тенденцию к дегенерации и кальцификации, что часто наблюдается у взрослых пациентов, которым клапаны были имплантированы в аортальную позицию, но такие исходы характерны и для позиции кЛА, несмотря на то что из-за более низкого артериального давления механическая нагрузка гораздо меньше [22]. Таким образом, независимо от того, в какое положение имплантирован биологический клапан, повторное вмешательство у таких пациентов является частым явлением.

Протезирование ВОПЖ является высокоэффективным методом лечения пациентов с легочной регургитацией и уменьшением объема ПЖ в краткосрочной перспективе. Однако до сих пор неясно, улучшает ли и в какой степени протезирование ВОПЖ прогноз пациентов, или предотвращает риск аритмий и внезапной сердечно-сосудистой смерти [23].

В исследование ИНДИКАТОР было включено 1358 пациентов, из которых 440 пациентам была проведена операция протезирования кЛА: 396 (90%) из них – открытое протезирование и 44 (10%) эндоваскулярное вмешательство. Срок наблюдения составил 5,3 года. За это время оперативное вмешательство не было связано со снижением риска неблагоприятных клинических исходов, включая смерть и устойчивую желудочковую тахикардию, по сравнению с группой пациентов, которых лечили консервативно [33]. Но даже такой большой выборки, как INDICATOR, недостаточно, чтобы предоставить убедительные доказательства в пользу активного, а не консервативного подхода к протезированию ВОПЖ. Вполне возможно, что при значительно большем количестве пациентов и более длительном наблюдении могут появиться доказательства пользы или вреда активной тактики лечения. Но было

доказано, что после протезирования ВОПЖ у пациентов с длительно существующей регургитацией на кЛА функциональный класс сердечной недостаточности по NYHA и размер ПЖ значительно улучшились [24]. Таким образом, результаты, демонстрирующие улучшение функционального класса сердечной недостаточности и размеров ПЖ, подразумевают улучшение качества жизни данной когорты пациентов, что является причиной выполнения протезирования ВОПЖ в реальной клинической практике.

В подавляющем большинстве случаев биологический клапан считается лучшим выбором протеза, но есть небольшая группа взрослых пациентов, у которых механический клапан может быть использован в качестве альтернативы, особенно когда эти пациенты нуждаются в длительном приеме пероральных антикоагулянтов по другим причинам. И количество пациентов, которым может помочь механический клапан оттока из ПЖ, составляет 1–2% [25].

В Российской Федерации с 1990 г. в Центре сердечно-сосудистой хирургии имени А.Н. Бакулева активно накапливается опыт хирургических вмешательств по поводу хронической легочной регургитации у детей с ВПС [26].

Конduit Contegra (Medtronic Inc., США) из яремной вены быка изначально демонстрировал большие перспективы в качестве протеза в позицию ВОПЖ. Конduit доступен в размерах от 12 до 22 мм, не требует приема пероральных антикоагулянтов, обеспечивает надежную работу клапана у большого процента пациентов. Однако, по мнению некоторых авторов, этот тип протеза также приводил к структурной дегенерации после среднего периода наблюдения в 6–10 лет. При этом значительной доле пациентов требовалось повторное хирургическое вмешательство: обычно либо имплантация транскатетерного клапана легочной артерии Melody, либо полная замена кондуита [27]. В некоторых исследованиях при сравнении Contegra с гомографтами авторы делают выводы, что Contegra имеет более высокий риск нежела-

тельных явлений и более высокие градиенты давления на кондуите [28].

Аортальные, а затем и легочные гомографты были первыми «анатомическими» клапанными кондуитами, которые были использованы при лечении ВПС почти 50 лет назад. Несмотря на то что гомографты аорты надежны в среднесрочной перспективе, однако через 8–12 лет они могут быть подвержены серьезной дегенерации. Основная проблема – это стеноз кондуита, вследствие того, что сосудистая стенка аортального гомотрансплантата значительно кальцинируется. Легочные гомографты все чаще используются для реконструкции ВОПЖ [29].

Легочные гомографты демонстрируют хорошие результаты с точки зрения гемодинамики, имеют очень низкий риск тромбоемболий и более устойчивы к инфекции, чем механические или биологические протезы. Тем не менее, у гомографтов есть недостатки, связанные с ограниченной доступностью и хранением. Примерно 30–40% гомографтов все еще нормально функционируют спустя 20 лет. После имплантации легочного гомографта может развиваться регургитация, но она редко является причиной повторной операции. Обструкция легочного гомографта, вызванная выраженной кальцификацией, является гораздо более частой причиной повторной операции/повторного вмешательства на ВОПЖ. J.I. Christenson et al. в своем исследовании сделали выводы, что несовместимость по группе крови между реципиентом и донором гомотрансплантата играет важную роль в развитии дисфункции, особенно у детей младше 3 лет [30]. Гомографты по-прежнему рассматриваются многими хирургами в качестве первого варианта для протезирования кЛА [31].

Транскатетерное протезирование клапана легочной артерии

Первое транскатетерное протезирование кЛА, о котором сообщили P. Vonhoeffler et al., было революцией в кардиохирургическом мире, дав старт малоинвазивным вмешатель-

ствам на клапанном аппарате сердца [32]. Эндovasкулярные процедуры являются лучшей альтернативой у пациентов с крайне высоким риском сердечных осложнений при проведении открытого вмешательства [33, 34].

В Российской Федерации первая имплантация клапана Melody (Medtronic, Minneapolis, США) в позицию ЛА выполнена академиком Б.Г. Алекином и коллегами в 2008 г. в НЦССХ им. А.Н. Бакулева. Клапан Sapien XT (Edwards Lifesciences Corporation, США) и клапан Myval (Meril Life Sciences, Индия) впервые имплантированы в Морозовской ДГКБ (Москва) М.Г. Пурсановым в декабре 2019 г. и в июне 2023 г соответственно [35].

В крупнейшем исследовании у пациентов, подверженных транскатетерному протезированию ВОПЖ, оценивались смертность и повторные вмешательства, связанные с процедурой. В исследование вошло 845 пациентов (средний возраст $21,0 \pm 11,1$ года). Инфекционный эндокардит после имплантации транскатетерного легочного клапана показал частоту заболеваемости 2,3% на человека в год (95% доверительный интервал 1,9–2,8) и привел к 9 летальным исходам. Смерть, необходимость хирургического или повторного интервенционного лечения наблюдались в 0,5, 1,2 и 2,0% случаев соответственно [36]. Транскатетерные методы протезирования кЛА показывают хорошие результаты. Американские ученые A.C. Egbe et al. сделали заключение, что после эндovasкулярного вмешательства на кЛА обратное ремоделирование правых отделов сердца происходит лучше в сравнении с открытой хирургией, однако существует высокий риск инфекционного эндокардита, что остается серьезной проблемой [37].

Полимерные каркасы с потенциалом для эндогенного восстановления тканей

Результаты внедрения данной технологии очень обнадеживают, так как в ее основе лежит биodeградируемый материал (полимер в качестве каркаса), который с течением времени заменяется собственной тканью ор-

ганизма. Процесс «эндогенного восстановления тканей» можно разделить на три важных этапа: 1) имплантация протеза, служащего каркасом, 2) формирование новой ткани и 3) функциональное восстановление с последующим рассасыванием каркаса. В течение 24 мес происходит замещение имплантируемого клапана на собственные клетки организма. Критический баланс между формированием тканей и абсорбцией имплантата является ключом к успеху этой технологии, поскольку ткани пациента должны выполнять функцию имплантата после его полного исчезновения. Данный кондуит показал обнадеживающие результаты на модели овцы в возрасте до 24 мес, что представляет собой значительный прорыв, по сравнению с существующими кондуитами. Кондуит XELTIS (Швейцария–Дания) представляет собой синтетическое, рассасывающееся устройство, которое после имплантации позволяет создать сердечный клапан или кровеносный сосуд из собственной ткани пациента. Применение этой восстановительной технологии позволяет по-новому взглянуть на протезирование сердечных клапанов у детей [27].

Заключение

Проведение радикальной коррекции ТФ не является окончательным этапом в лечении пациентов с хронической недостаточностью кЛА. Современный уровень развития сердечно-сосудистой и эндоваскулярной хирургии предполагает использование широкого спектра вмешательств на ВОПЖ после радикальной коррекции ТФ у таких пациентов. Но все еще нет точных рекомендаций по ведению пациентов с хронической недостаточностью кЛА, поэтому необходимо дальнейшее изучение данного вопроса.

Литература/References

1. Ляпин А.А., Тарасов Р.С. Современные данные о методах коррекции тетрады Фалло. *Кардиология и сердечно-сосудистая хирургия*. 2021; 14 (5): 349–353. DOI: 10.17116/kardio20211405134.
Lyapin A.A., Tarasov R.S. Modern data on correction of tetralogy of Fallot. *Russian Journal of Cardiology and Cardiovascular*

- Surgery*. 2021; 14 (5): 349–353 (in Russ.) DOI: 10.17116/kardio20211405134
2. van der Ven J.P.G., van den Bosch E., Bogers A.J.C.C., Helbing W.A. Current outcomes and treatment of tetralogy of Fallot. *F1000 Faculty*. 2019; 8: F1000. DOI: 10.12688/f1000research.17174.1
3. Kochav J., DeFariah Y.D., Bhatt A. Adult congenital heart disease in clinical practice. Tetralogy of Fallot New York, NY. *Springer Berlin Heidelberg*. 2018; 23: 295–318. DOI: 10.21037/atm.2020.02.18
4. Cotella J.I., Kovacs A., Addetia K., Fabian A., Asch F.M., Lang R.M.; WASE Investigators. Three-dimensional echocardiographic evaluation of longitudinal and non-longitudinal components of right ventricular contraction: results from the World Alliance of Societies of Echocardiography study. *Eur. Heart J. Cardiovasc. Imaging*. 2024; 25 (2): 152–160. DOI: 10.1093/ehjci/jead213
5. Baumgartner H., De Backer J., Babu-Narayan S.V., Budts W., Chessa M., Diller G.P. et al.; ESC Scientific Document Group. 2020 ESC Guidelines for the management of adult congenital heart disease. *Eur. Heart J*. 2021; 42 (6): 563–645. DOI: 10.1093/eurheartj/ehaa554
6. Zoghbi W.A., Adams D., Bonow R.O., Enriquez-Sarano M., Foster E., Grayburn P.A. et al. Recommendations for Noninvasive Evaluation of Native Valvular Regurgitation: A Report from the American Society of Echocardiography Developed in Collaboration with the Society for Cardiovascular Magnetic Resonance. *J. Am. Soc. Echocardiogr*. 2017; 30 (4): 303–371. DOI: 10.1016/j.echo.2017.01.007
7. Koestenberger M., Nagel B., Ravekes W., Everett A.D., Stueger H.P., Heinzl B. et al. Tricuspid annular plane systolic excursion and right ventricular ejection fraction in pediatric and adolescent patients with tetralogy of Fallot, patients with atrial septal defect, and age-matched normal subjects. *Clin. Res. Cardiol*. 2011; 100 (1): 67–75. DOI: 10.1007/s00392-010-0213-z
8. Sánchez Ramírez C.J., Pérez de Isla L. Tetralogy of Fallot: cardiac imaging evaluation. *Ann. Translat. Med*. 2020; 8 (15): 966. DOI: 10.21037/atm.2020.02.18
9. Shiina Y., Taniguchi K., Nagao M., Takahashi T., Niwa K., Kawakubo M., Inai K. The relationship between extracellular volume fraction in symptomatic adults with tetralogy of Fallot and adverse cardiac events. *J. Cardiol*. 202075 (4): 424–431. DOI: 10.1016/j.jjcc.2019.09.009
10. Lapiere C., Dubois J., Rypens F., Raboisson M.J., Déry J. Tetralogy of Fallot: Preoperative assessment with MR and CT imaging. *Diagn. Interv. Imaging*. 2016; 97 (5): 531–541. DOI: 10.1016/j.diii.2016.01.009
11. Sandeep B., Huang X., Xu F., Su P., Wang T., Sun X. Etiology of right ventricular restrictive physiology early after repair of tetralogy of Fallot in pediatric patients. *J. Cardiothorac. Surg*. 2019; 14 (1): 84. DOI: 10.1186/s13019-019-0909-8
12. Mercer-Rosa L., Fogel M.A., Paridon S.M., Rychik J., Yang W., Goldmuntz E. Revisiting the end-diastolic forward flow (restrictive physiology) in tetralogy of Fallot: an exercise, echocardiographic, and magnetic resonance study. *JACC Cardiovasc. Imaging*. 2018; 11 (10): 1547–1548. DOI: 10.1016/j.jcmg.2018.01.008
13. Egbe A.C., Bonnichsen C., Reddy Y.N.V., Anderson J.H., Borlaug B.A. Pathophysiologic and prognostic implications of right atrial hypertension in adults with tetralogy of Fallot. *J. Am. Heart Assoc*. 2019; 8 (22): e014148. DOI: 10.1161/JAHA.119.014148
14. Egbe A.C., Pellikka P.A., Miranda W.R., Bonnichsen C., Reddy Y.N.V., Borlaug B.A., Connolly H.M. Echocardiographic predictors of severe right ventricular diastolic dysfunction in tetralogy of Fallot: Relations to patient outcomes. *Int. J. Cardiol*. 2020; 306: 49–55. DOI: 10.1016/j.ijcard.2020.02.067
15. Dobbels B., Herregods M.C., Troost E., Van De Bruaene A., Rega F., Budts W., De Meester P. Early versus late pulmonary valve replacement in patients with transannular patch-repaired

Reviews

- Tetralogy of Fallot. *Interac. Cardiovasc. Thorac. Surg.* 2017; 25: 427–433. DOI: 10.1093/icvts/ivx118
16. Geva T. Indications for pulmonary valve replacement in repaired tetralogy of fallot: the quest continues. *Circulation.* 2013; 128: 1855–1857. DOI: 10.1161/CIRCULATIONAHA.113.005878
 17. Kitagawa A., Oka N., Kimura S., Ando H., Honda T., Takanaishi M. et al. Clinical utility of the plasma brain natriuretic peptide level in monitoring tetralogy of Fallot patients over the long term after initial intracardiac repair: considerations for pulmonary valve replacement. *Pediatr. Cardiol.* 2015; 36 (4): 752–758. DOI: 10.1007/s00246-014-1075-3
 18. Lim C., Lee J.Y., Kim W.H., Kim S.C., Song J.Y., Kim S.J. et al. Early replacement of pulmonary valve after repair of tetralogy: is it really beneficial? *Eur. J. Cardiothorac. Surg.* 2004; 25 (5): 728–734. DOI: 10.1016/j.ejcts.2004.01.036
 19. Borowski A., Ghodsizad A., Litmathe J., Lawrenz W., Schmidt K.G., Gams E. *Pediatr. Cardiol.* Severe pulmonary regurgitation late after total repair of tetralogy of Fallot: surgical considerations. *Pediatr. Cardiol.* 2004; 25 (5): 466–471. DOI: 10.1007/s00246-003-0579-z
 20. Romeo J.L.R., Takkenberg J.J.M., Cuypers J.A.A.E., de Groot N.M.S., van de Woestijne P., Bruining N. et al. Timing of pulmonary valve replacement in patients with corrected Fallot to prevent QRS prolongation. *Eur. J. Cardiothorac. Surg.* 2020; 58 (3): 559–566. DOI: 10.1093/ejcts/ezaa049
 21. Herrmann J.L., Brown J.W. Seven decades of valved right ventricular outflow tract reconstruction. The most common heart procedure in children. *J. Thorac. Cardiovasc. Surg.* 2020; 160: 1284–1288. DOI: 10.1016/j.jtcvs.2020.04.137
 22. Said S.M. Inspiris resilia early failure in the pulmonary position: is it the technique or the valve? *Ann. Thorac. Surg.* 2023; 116 (3): 651–652. DOI: 10.1016/j.athoracsur.2023.02.051
 23. Mongeon F.P., Ben Ali W., Khairy P., Bouhout I., Therrien J., Wald R.M. et al. Pulmonary valve replacement for pulmonary regurgitation in adults with tetralogy of Fallot: a meta-analysis—a report for the Writing Committee of the 2019 Update of the Canadian Cardiovascular Society Guidelines for the Management of adults with congenital heart disease. *Can. J. Cardiol.* 2019; 35 (12): 1772–1783. DOI: 10.1016/j.cjca.2019.08.031
 24. Valente A.M., Gauvreau K., Assenza G.E., Babu-Narayan S.V., Evans S.P., Gatzoulis M. et al. Rationale and design of an International Multicenter Registry of patients with repaired tetralogy of Fallot to define risk factors for late adverse outcomes: the INDICATOR cohort. *Pediatr. Cardiol.* 2013; 34 (1): 95–104. DOI: 10.1007/s00246-012-0394-5
 25. Slouha E., Trygg G., Tariq A.H., La A., Shay A., Gorantla V.R. Pulmonary valve replacement timing following initial tetralogy of Fallot repair: a systematic review. *Cureus.* 2023; 15 (11): e49577. DOI: 10.7759/cureus.49577
 26. Подзолков В.П., Юрлов И.А., Данилов Т.Ю., Гаджиев А.А., Хассан А., Ковалев Д.В. и др. Протезирование клапана легочной артерии в отдаленные сроки после радикальной коррекции врожденных пороков сердца с обструкцией легочного кровотока. *Грудная и сердечно-сосудистая хирургия.* 2008; 4: 4–11.
 - Podzolkov V.P., Yurlov I.A., Danilov T.Yu., Gadzhiyev A.A., Hassan A., Kovalev D.V., et al. Pulmonary arterial valve replacement in the late periods after radical correction of congenital heart disease with pulmonary blood flow obstruction. *Grudnaya i Serdechno-Sosudistaya Khirurgiya.* 2008; 4: 4–11 (in Russ.).
 27. Carrel T. Past, present, and future options for right ventricular outflow tract reconstruction. *Front. Surg.* 2023; 10: 1185324. DOI: 10.3389/fsurg.2023.1185324
 28. Schoenhoff F.S., Loup O., Gahl B., Banz Y., Pavlovic M., Pfammatter J.P., et al. The Contegra bovine jugular vein graft versus the Shelhigh pulmonic porcine graft for reconstruction of the right ventricular outflow tract: a comparative study. *J. Thorac. Cardiovasc. Surg.* 2011; 141: 654–661. DOI: 10.1016/j.jtcvs.2010.06.068
 29. Al Mosa A.F.H., Madathil S., Bernier P.L., Tchervenkov C. Long-Term outcome following pulmonary valve replacement in repaired tetralogy of Fallot. *World J. Pediatr. Congenit. Heart Surg.* 2021; 12 (5): 616–627. DOI: 10.1177/21501351211027857
 30. Christenson J.T., Sierra J., Beghetti M., Kalangos A. Blood group incompatibility and accelerated homograft fibrocalcifications. *J. Thorac. Cardiovasc. Surg.* 2004; 127: 242–250. DOI: 10.1016/j.jtcvs.2003.07.047
 31. Oeser C., Uyanik-Uenal K., Kocher A., Laufer G., Andreas M. Long-term performance of pulmonary homografts after the ross procedure: experience up to 25 years. *Eur. J. Cardio Thorac. Surg.* 2019; 55: 876–884. DOI: 10.1093/ejcts/ezy372
 32. Bonhoeffer P., Boudjemline Y., Saliba Z., Merckx J., Aggoun Y., Bonnet D., et al. Percutaneous replacement of pulmonary valve in a right-ventricle to pulmonary-artery prosthetic conduit with valve dysfunction. *Lancet.* 2000; 356: 1403–1405. DOI: 10.1016/S0140-6736(00)02844-0
 33. Трошкинев Н.М., Тарасов Р.С. Транскатетерное протезирование клапана легочной артерии при врожденных пороках сердца. *Кардиология и сердечно-сосудистая хирургия.* 2023; 16 (2): 161–170. DOI: 10.17116/kardio202316021161
 - Troshkinev N.M., Tarasov R.S. Transcatheter pulmonary valve replacement for congenital heart defects. *Russian Journal of Cardiology and Cardiovascular Surgery.* 2023; 16 (2): 161–170 (in Russ.). DOI: 10.17116/kardio202316021161
 34. Свободов А.А., Крылова А.С. Транскатетерное протезирование клапана легочной артерии: обзор клапанов, одобренных для клинического применения. *Кардиология и сердечно-сосудистая хирургия.* 2022; 15 (2): 144–150. DOI: 10.17116/kardio202215021144
 - Svobodov A.A., Krylova A.S. Transcatheter pulmonary valve implantation: review of the valves approved for clinical application. *Russian Journal of Cardiology and Cardiovascular Surgery.* 2022; 15 (2): 144–150 (in Russ.). DOI: 10.17116/kardio202215021144
 35. Nordmeyer J., Ewert P., Gewillig M., AlJufan M., Carminati M., Kretschmar O., et al. Acute and midterm outcomes of the post-approval MELODY Registry: a multicentre registry of transcatheter pulmonary valve implantation. *Eur. Heart J.* 2019; 40 (27): 2255–2264. DOI: 10.1093/eurheartj/ehz201
 36. Пурсанов М.Г. Эндоваскулярное транскатетерное замещение клапана легочной артерии с помощью баллон-расширяемых устройств (обзор литературы). *Комплексные проблемы сердечно-сосудистых заболеваний.* 2024; 13 (4S): 197–207. DOI: 10.17802/2306-1278-2024-13-4S-197-207
 - Pursanov M.G. Endovascular transcatheter pulmonary valve replacement using balloon-expandable devices: a literature review. *Complex Issues of Cardiovascular Diseases.* 2024; 13 (4S): 197–207 (in Russ.). DOI: 10.17802/2306-1278-2024-13-4S-197-207
 37. Egbe A.C., Salama A.A., Miranda W.R., Karnakoti S., Anderson J.H., Jain C.C. et al. Right heart reverse remodeling and prosthetic valve function after transcatheter vs surgical pulmonary valve replacement. *JACC Cardiovasc. Interv.* 2024; 17 (2): 248–258. DOI: 10.1016/j.jcin.2023.11.030

Вклад авторов: Ляпин А.А. – разработка концепции и дизайна исследования; сбор и обработка материала, написание текста рукописи; Тарасов Р.С. – утверждение рукописи для публикации; проверка критически важного содержания.

Contribution: Lyapin A. A. – study concept and design, material collection and processing, writing – original draft; Tarasov R.S. – approval of the final version, Supervision and validation.