

Повторное протезирование клапанов сердца: подходы и устройства (обзор литературы)

Клышников К. Ю., Овчаренко Е. А., Стасев А. Н., Барбараш Л. С.

ФГБНУ "Научно-исследовательский институт комплексных проблем сердечно-сосудистых заболеваний". Кемерово, Россия

Дисфункции биопротезов клапанов сердца представляют собой серьезный недостаток, который ограничивает более широкое клиническое использование данных медицинских изделий в случае хирургической коррекции приобретенных клапанных пороков. Современные исследования описывают взгляд патофизиологов на данную проблему как на многофакторный многостадийный процесс, вызывающий необратимые изменения в компонентах биопротезов, в конечном итоге, приводящий к значимому нарушению их функции. Однако помимо понимания причин и проявлений развития дисфункции протезов возникает прикладной вопрос о стратегиях лечения данного состояния — определения наиболее щадящего, доступного и малорискового метода/устройства. Цель настоящего обзора — анализ и систематизация актуальных литературных данных о методах и конструкциях, применяемых при повторном хирургическом и транскатетерном вмешательствах на клапанах сердца.

Ключевые слова: дисфункция биопротеза, клапан сердца, протез-в-протез, репротезирование клапана сердца, повторное вмешательство на клапане сердца.

Отношения и деятельность: нет.

Поступила 03/08-2022

Рецензия получена 18/09-2022

Принята к публикации 24/10-2022



Для цитирования: Клышников К. Ю., Овчаренко Е. А., Стасев А. Н., Барбараш Л. С. Повторное протезирование клапанов сердца: подходы и устройства (обзор литературы). *Кардиоваскулярная терапия и профилактика*. 2023;22(2):3377. doi:10.15829/1728-8800-2023-3377. EDN ZZBIFA

Repeated valve replacement: approaches and devices (literature review)

Klyshnikov K. Yu., Ovcharenko E. A., Stasev A. N., Barbarash L. S.

Research Institute for Complex Issues of Cardiovascular Diseases. Kemerovo, Russia

Bioprosthetic valve dysfunction represent a serious drawback that limits the wider clinical use of these medical devices for valvular heart disease surgery. Modern studies describe the view of pathophysiologists on this problem as a multifactorial multi-stage process that causes irreversible changes in bioprosthesis components, ultimately leading to its dysfunction. However, in addition to understanding the causes and manifestations of prosthetic valve dysfunction, an applied question arises about the treatment strategies — determining the most attenuated and accessible low-risk method/device. The aim of this review was to analyze and systematize current literature data on methods and designs used in repeated surgical and transcatheter interventions on heart valves.

Keywords: bioprosthetic valve dysfunction, heart valve, valve-in-valve, repeated valve replacement, repeated heart valve intervention.

Klyshnikov K. Yu.* ORCID: 0000-0003-3211-1250, Ovcharenko E. A. ORCID: 0000-0001-7477-3979, Stasev A. N. ORCID: 0000-0003-1341-204X, Barbarash L. S. ORCID: 0000-0001-6981-9661.

*Corresponding author:
klyshku@kemcardio.ru

Received: 03/08-2022

Revision Received: 18/09-2022

Accepted: 24/10-2022

For citation: Klyshnikov K. Yu., Ovcharenko E. A., Stasev A. N., Barbarash L. S. Repeated valve replacement: approaches and devices (literature review). *Cardiovascular Therapy and Prevention*. 2023;22(2):3377. doi:10.15829/1728-8800-2023-3377. EDN ZZBIFA

Relationships and Activities: none.

ESC-EACTS — European Society of Cardiology — European Association for Cardio-Thoracic Surgery (Европейское кардиологическое общество и Европейская ассоциация кардиоторакальной хирургии).

*Автор, ответственный за переписку (Corresponding author):

e-mail: klyshku@kemcardio.ru

[Клышников К. Ю.* — к.м.н., н.с. лаборатории новых биоматериалов, ORCID: 0000-0003-3211-1250, Овчаренко Е. А. — к.т.н., зав. лабораторией новых биоматериалов, ORCID: 0000-0001-7477-3979, Стасев А. Н. — к.м.н., с.н.с. лаборатории пороков сердца, ORCID: 0000-0003-1341-204X, Барбараш Л. С. — д.м.н., г.н.с., профессор, академик РАН, ORCID: 0000-0001-6981-9661].

Ключевые моменты**Что известно о предмете исследования?**

- Биопротезы клапанов сердца подвержены структурной дегенерации, которая приводит к неминуемой необходимости проведения повторного вмешательства — репротезирования.
- Методы и приемы повторных вмешательств разнообразны и представляют широкий перечень инструментария для лечения дисфункции — от хирургических до малоинвазивных и транскатетерных устройств.

Что добавляют результаты исследования?

- Процедура "протез-в-протез" каркасным протезом шовным способом обладает малой эффективностью и сложностью исполнения, поэтому ее применение нецелесообразно.
- Процедура бесшовного повторного протезирования способна стать ценной альтернативой открытым вмешательствам за счет меньшей длительности и травматичности, однако количество доступных устройств для такого способа имплантации существенно ограничено.

Key messages**What is already known about the subject?**

- Bioprosthetic heart valves are subject to structural degeneration, which leads to the inevitable need for reintervention.
- The methods and techniques of reinterventions are diverse and represent a wide range of tools for the treatment of dysfunction — from surgical to minimally invasive and transcatheter devices.

What might this study add?

- The valve-in-valve procedure using a sutural method has a low efficiency and high complexity, which makes it inappropriate.
- The sutureless repeated valve replacement can become a valuable alternative to open interventions due to its shorter duration and less injury. However, the number of available devices for this method is significantly limited.

Введение

Проблема преодоления развития дисфункций биопротезов клапанов сердца представляет собой комплексную, мультидисциплинарную задачу, требующую вовлечения исследователей фундаментального и прикладного профиля с включением знаний практикующих сердечно-сосудистых хирургов, кардиологов, специалистов функциональной диагностики [1, 2]. Актуальность ее значима, учитывая, что для ряда пациентов биопротезы являются единственными устройствами лечения приобретенных пороков сердца [3, 4], т.к. альтернатива — механические протезы, в обязательном порядке требуют от реципиента пожизненной антикоагулянтной терапии — приема антагонистов витамина К (варфарин) [5] и антиагрегантов (аспирин) [6, 7]. Ассоциированный с данными препаратами риск кровотечения [8], потенциально малая приверженность реципиента к терапии, несовместимость с сопутствующими заболеваниями [7], в целом, определяют стратегию лечения некоторых пациентов в пользу биологических протезов. Цель настоящего обзора состоит в анализе и систематизации актуальных литературных данных о методах и конструкциях, применяемых при повторном хирургическом и транскатетерном вмешательствах на клапанах сердца.

Материал и методы

Поиск литературных источников проводили в системах индексирования научных публикаций PubMed, Google Scholar, Web of Science и Cyberleninka. В качестве поисковых запросов использовали ключевые слова и выражения: "биопротез клапана"; "клапан сердца"; "дисфункция биопротеза"; "протез-в-протез"; "репротезирование клапана сердца"; "повторное вмешательство на клапане сердца"; "valve-in-valve"; "heart valve"; "bioprosthesis"; "REDO valve". Поиск проводили по заголовкам, содержанию аннотаций, ключевым словам. Глубина поиска составила 22 года, начиная с 2000г, за исключением более ранних источников, освещающих историю вопроса протезирования клапанов сердца. Всего для анализа было отобрано 143 публикации. Работы, содержащие только резюме, тезисы, а также дублирующую информацию, были исключены. Кроме того, в анализ не вошли рукописи, описывающие сугубо экспериментальные техники повторных вмешательств на клапанах сердца, не нашедшие своего применения или не апробированные в клинической практике. Таким образом, настоящий обзор описывает обобщенные и систематизированные данные 48 литературных источников.

Исследование выполнено в рамках Комплексной научно-технической программы полного инновационного цикла "Разработка и внедрение комплекса технологий в области разведки и добычи твердых полезных ископаемых, обеспечения промышленной безопасности, биоремедиации, создания новых продуктов глубокой переработки из угольного сырья при последовательном

снижении экологической нагрузки на окружающую среду и рисков для жизни населения" (утв. Распоряжением Правительства РФ от 11 мая 2022г № 1144-р).

Результаты

Дисфункция биопротеза как первопричина повторных вмешательств на клапанах сердца

Неизбежно наступающая несостоятельность компонентов биопротеза в сроки до 15 лет, достигающая частоты 19-49% [9-11], обуславливает необходимость увеличения длительности функционирования и разработку подходов для повторных вмешательств на дисфункциональных биопротезах. Среди основных факторов возникновения и развития дисфункции выделяют [12]:

1) Протез-ассоциированные, которые в той или иной мере относятся к конструкции, материалам и технике имплантации биопротеза: остаточные антигены в составе элементов на основе тканей биологического происхождения как цели для воздействия иммунной системы; естественное старение (усталостная прочность) материалов; пассивная кальцификация [13, 14].

2) Пациент-ассоциированные факторы, основанные на ответном воздействии организма реципиента: иммунный ответ и обусловленная им активная кальцификация [15]; дислипидемические факторы; гиперпролиферация и гиперплазия соединительной ткани (паннусообразование) [16].

3) Протезный инфекционный эндокардит [12, 17, 18]. Частота такого механизма может достигать 10% [19] всех дисфункций протезов. Разнообразие инфекционных агентов представлено 200 штаммами возбудителей [20], однако наиболее частыми возбудителями являются только два: *Staphylococcus spp.* в 36% и *Streptococcus spp.* в 25% случаев [21].

В результате длительного воздействия перечисленных факторов происходит постепенное разрушение и кальцификация "пассивного", неспособного к регенерации биоматериала створок протеза, что вызывает развитие дисфункции [4]. Несмотря на такое разнообразие и сочетание механизмов, согласно рекомендациям ESC-EACTS (European Society of Cardiology — European Association for Cardio-Thoracic Surgery, Европейское кардиологическое общество и Европейская ассоциация кардиоторакальной хирургии), 2021г [7], клиническим их проявлением являются только два события — высокий транспротезный градиент или тяжелая протезная недостаточность, которые должны быть скорректированы. Именно методам коррекции и посвящен настоящий обзор: описаны основные методики и медицинские устройства, их преимущества и недостатки при лечении дисфункции протезов клапанов сердца в современной клинической практике и в исторической ретроспективе. Согласно рекомендациям ESC-EACTS 2021г,

возможны два базовых сценария коррекции такого состояния [7]:

а) Полное репротезирование в условиях открытого хирургического вмешательства (класс I, уровень доказательности C) [22, 23].

б) Имплантация по технике "протез-в-протез" (класс IIa, уровень доказательности C) в следующих вариантах: открытое вмешательство с использованием шовных [24-26] или бесшовных протезов [27], а также транскатетерный способ [28, 29].

Полное репротезирование

Самой распространенной, исторически первой, методикой лечения дисфункции биопротезов клапанов сердца является хирургическое открытое репротезирование. Суть подхода заключается в полном удалении протеза с дисфункцией при санации внутрикardиальных структур с последующей реимплантацией нового протеза в подготовленное ложе [22, 23]. При таком варианте общая длительность искусственного кровообращения и пережатия аорты может достигать 159,8 и 95,8 (среднее значение) мин, соответственно [30]. Для открытого, но первичного, протезирования аналогичные значения составляют 104 и 74,5 (среднее значение) мин [31]. Подобная разница в длительности определяет и разницу в исходах: время пережатия аорты >60 мин ассоциировано с большим риском инсульта, а >90 мин — с большим риском респираторных осложнений в послеоперационном периоде [30]. Продолжительность искусственного кровообращения >180 мин и пережатия аорты >80 мин при протезированиях клапанов сердца являются предикторами высокой госпитальной летальности [32]. Это наглядно видно в статистике общей госпитальной летальности, достигающей для репротезирования 4,6-16,7% случаев [33, 34]; для первичного протезирования — 2,2% [34].

Стоит отметить, что полная эксплантация дисфункционального биопротеза является и травматичной процедурой. При санации области будущей имплантации возможны: повреждения устьев коронарных артерий, травма фиброзного кольца и корня аорты в целом, выводного отдела левого желудочка [25, 35]. В редких случаях репротезирования митрального клапана возможен разрыв левого желудочка [35]. Подобные повреждения сами по себе являются причиной интра- и госпитальной послеоперационной летальности [35].

Дополнительным фактором, усложняющим техническое проведение полного репротезирования, является более сложный доступ к сердцу и дисфункциональному протезу вследствие значительной выраженности спаечного процесса в переднем средостении и полости перикарда после первичной процедуры [36, 37]. Обеспечение доступа в таких условиях становится более длительным, с большим риском серьезных повреждений струк-

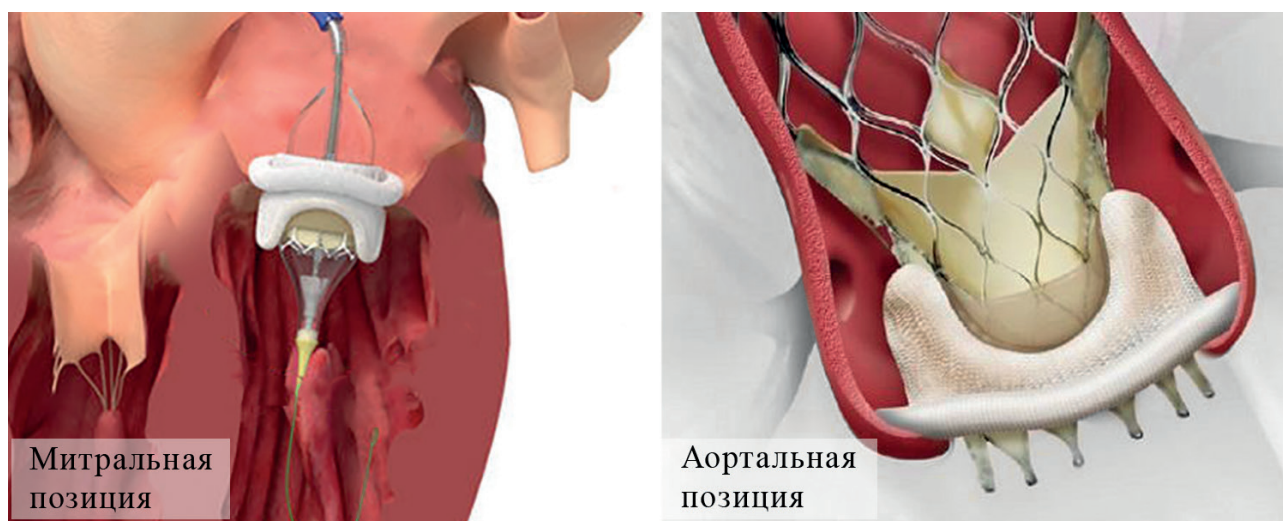


Рис. 1 Визуализации методики "протез-в-протез" для двух случаев: митральной и аортальной позиций с использованием транскатетерных биопротезов Sapien XT (Edwards LifeSciences LLC, США) и Evolut™ R (Medtronic plc, США), соответственно.

тур сердца [38]. Такой проблемы лишен один из малоинвазивных вариантов репротезирования — транскатетерный, о котором будет сказано в настоящем обзоре ниже.

Повторное протезирование по типу "протез-в-протез"

Совокупность описанных выше отрицательных сторон открытого полного репротезирования и активное развитие медицинских технологий привели к возникновению более щадящих вариантов репротезирования, объединенных общим принципом — "протез-в-протез" (в зарубежной литературе "valve-in-valve") (рисунок 1). Концепция данного подхода заключается в сохранении на месте самой трудно эксплантируемой части протеза с дисфункцией — его опорного каркаса и манжеты. Новый протез при этом имплантируют в такой оставшийся каркас методом "протез-в-протез". При этом, в зависимости от конструкции и способа доставки нового протеза, выделяют следующие подтипы вмешательства: открытое вмешательство с использованием шовных [24-26] или бесшовных протезов [27], а также транскатетерный способ [28, 29]. Рассмотрим их более детально.

Повторное протезирование по типу "протез-в-протез": каркасным протезом шовным способом

Среди всех вариантов методики "протез-в-протез" данный вариант является наиболее исторически ранним. При таком подходе используют "традиционные" каркасные биологические или механические протезы меньшего, по сравнению с репротезируемым, диаметром, который фиксируют стандартным шовным способом. Первые литературные данные об успешном применении данной процедуры освещены исследователями под руководством Campanella C (1990) и Raffa H

(1991). В первом случае механическим шаровым протезом Starr-Edwards (33 мм) был репротезирован митральный биопротез Carpentier-Edwards (35 мм) [39]. Во второй работе использовали аналогичную пару: механический протез Carbomedics (21 мм) в биологическом Ionescu-Shiley (23 мм), но уже для клапана аорты [40]. В современной литературе имеются описания отдельных клинических случаев [41, 42] или небольших исследований [26, 43] такого способа, в т.ч. в отечественной хирургической практике [24, 25]. Однако, по-видимому, данная разновидность методики не находит своего рутинного применения, оставаясь одноцентровым опытом вследствие целого ряда причин, к каковым можно отнести:

а) Сохранение значительной длительности вмешательства при фиксации шовным способом. Безусловно, при данной методике репротезирования исключен этап полной эксплантации протеза с дисфункцией, однако для пришивания нового протеза необходимо наложение стандартных 10-18 П-образных швов, что занимает до 15-25 мин [44]. Таким образом, технология решает только часть проблем повторного протезирования — снижение травматичности и времени, связанных с эксплантацией.

б) Значительный стенозирующий эффект при формировании комплекса "протез-в-протез". При данной методике для имплантации используют "традиционные" протезы — биологические или механические, — которые обладают массивным каркасом, толщиной 1-1,5 мм. В результате из дисфункционального и нового протезов формируется система "каркас внутри каркаса", что в итоге должно вызывать "искусственный" стеноз. Авторы данной методики репротезирования демонстриру-

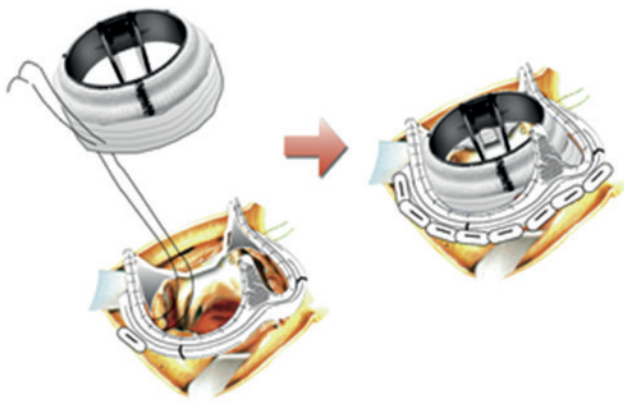


Рис. 2 Схема реализации техники "chimney" ("дымохода") для репротезируемого устройства малого диаметра: в данном случае имплантация 16 мм механического протеза ATS AP360 (Medtronic Inc., США) в 19 мм биопротез CER 2900 (Edwards Lifesciences, США).

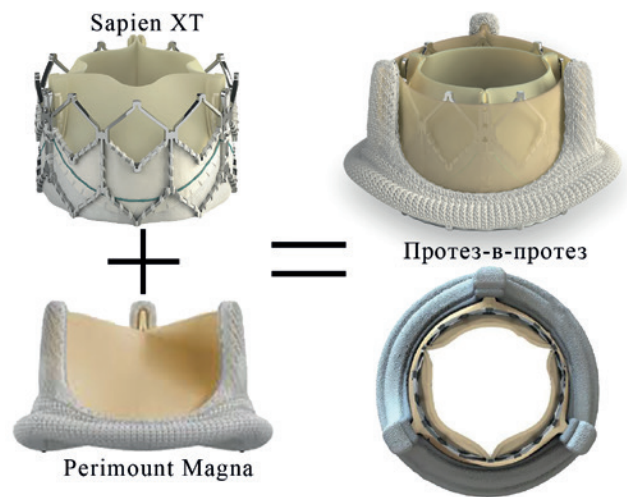


Рис. 4 Пример визуализации процедуры "протез-в-протез" транскатетерным способом с использованием баллонного протеза Sapien XT, для позиции клапана аорты.

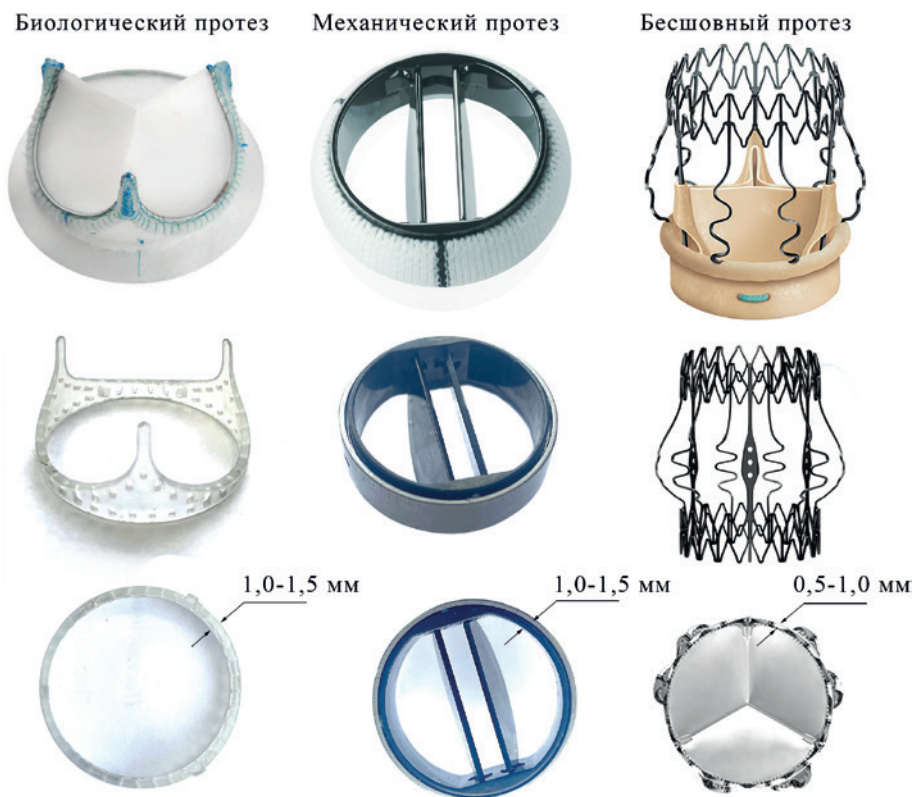


Рис. 3 Сравнение опорных каркасов протезов клапанов сердца на примере: "традиционного" биологического, "традиционного" механического двустворчатого и протеза с бесшовным способом фиксации.

ют удовлетворительные показатели постоперационной гемодинамики — средний транспроте́зный градиент 5,0-7,9 мм рт.ст. [39, 45]. Однако стоит отметить, что данные результаты получены для больших типоразмеров дисфункциональных протезов 30-35 мм (для митральной позиции). Для таких моделей сужение итогового просвета на 2-3 мм за счет имплантации внутрь другого каркасного

протеза является малосущественным, т.к. составляет всего 8-10% от диаметра. Для меньших типоразмеров, например, характерных для позиции клапана аорты (19-25 мм), подобное уменьшение диаметра проходного отверстия (на те же 2-3 мм) станет более существенным и может привести уже к более значительному "искусственному" стенозу. Некоторые авторы, учитывая такую осо-

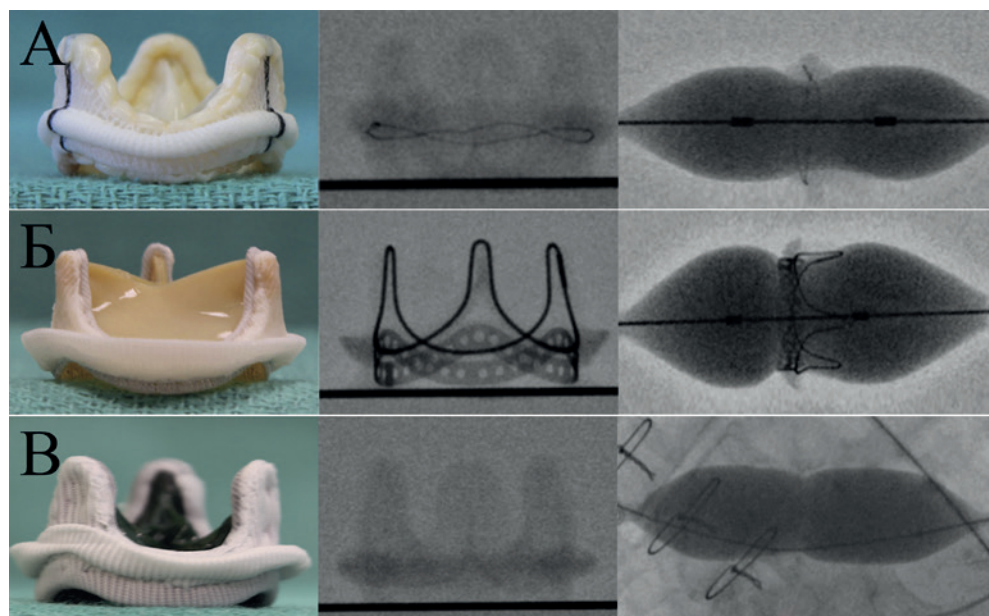


Рис. 5 Пример рентген-визуализации некоторых каркасных биопротезов: А — Epic valve (St. Jude Medical); Б — Perimount valve (Edwards LifeSciences LLC, США); Б — Intact valve (Medtronic plc, США).

бенность, предлагают модификацию процедуры "протез-в-протез" техникой "chimney", т.е. "дымохода" (рисунок 2) [46], при которой новый протез имплантируют выше уровня основания дисфункционального (по аналогии супрааннулярного протезирования). При таком варианте возможно добиться удовлетворительного градиента и на малых типоразмерах протеза (16-мм механический клапан установлен в 19-мм биологический) — среднего 6,4 мм рт.ст. и максимального 16 мм рт.ст. [46].

В целом, подход с исключением этапа эксплантации протеза с дисфункцией сокращает интракардиальный этап вмешательства; это укорачивает время пережатия аорты, а также снижает риски травмы окружающих тканей, что, безусловно, положительно сказывается на частоте послеоперационных осложнений и способствует более скорой реабилитации пациента [25].

Повторное протезирование по типу "протез-в-протез": бесшовная техника

С появлением протезов клапанов сердца с бесшовным способом фиксации, увеличением их представленности в клинической практике и формированием доказательной базы в серии многоцентровых исследований при первичном протезировании [47, 48], некоторые исследователи продемонстрировали их потенциал и при повторных вмешательствах для технологии "протез-в-протез" (рисунок 3). К сожалению, данная версия методики представлена в литературе лишь единичными результатами и только для одной модели таких устройств — Perceval S (LivaNova, США) [49, 50]. Использование протезов с бесшовной фиксацией выглядит перспективно вследствие дополнитель-

ных преимуществ по сравнению с описанным ранее вариантом репротезирования:

в) Дополнительное снижение длительности интракардиального этапа за счет бесшовного способа фиксации нового протеза, т.е. отказа от наложения фиксирующих П-образных швов.

г) Менее значимое уменьшение площади проходного отверстия, т.к. подобные протезы с бесшовным способом фиксации имеют опорный каркас по типу стента с относительно малой толщиной (рисунок 3). Снижение диаметра в таком случае составляет более щадящие 0,5-1,0 мм, что актуально для позиции клапана аорты, особенно в случае узкого ее корня [49].

Повторное протезирование по типу "протез-в-протез": транскатетерное

Среди всех вариантов процедуры "протез-в-протез" данная модификация обладает самой широкой применимостью в клинической практике и, следовательно, доказательной базой. Исследователи демонстрируют собственный опыт применения данного вида методики "протез-в-протез" для большого разнообразия моделей транскатетерных протезов: CoreValve™, Evolut™ R, Melody (Medtronic Inc., США), Sapien и Sapien XT (Edwards Lifesciences, США) (рисунок 4) [51, 52].

Литературные данные не демонстрируют строгого однозначного преимущества данной методики с позиции клинических показателей, прежде всего, летальности. Так, одна из работ подтверждает преимущество транскатетерного варианта по сравнению с полным репротезированием по показателю ранней послеоперационной (30 сут.) летальности: 14,5% для хирургического варианта vs 5,8%

для транскатетерного (суммарное $n=142$) [53]. Однако по некоторым литературным данным достоверные различия при сравнении с полным репротезированием отсутствуют. Такой вывод можно сделать на основании крупного метаанализа, включающего шесть исследований и, суммарно, 498 случаев повторных вмешательств на клапанах сердца [54]. В работе показано, что при применении транскатетерного способа репротезирования снижение ранней (30 сут.) и среднесрочной (180 сут.) смертности не имело подтверждения в статистических расчетах.

Анализируя другие литературные данные о применении такого вида техники "протез-в-протез", стоит отметить ряд проблем, решение которых сможет привести к однозначному признанию транскатетерного варианта наиболее эффективным. К такому можно отнести:

а) Риск коронарной обструкции, который особенно характерен при репротезировании бескаркасного протеза клапана аорты. Типичной причиной такого осложнения является отведение створки(-ок) дисфункционального биопротеза опорным стентовым каркасом транскатетерного протеза кнаружи, таким образом, что формируется полное или частичное перекрытие устья(ев) коронарных артерий [55]. Современный протокол дооперационного исследования должен предупреждать возникновение такого осложнения, однако литературные данные демонстрируют его в 0,6–3,5% случаев [56]. Стоит предполагать, что более широкое использование транскатетерных протезов нового поколения с возможностью частичного или полного репозиционирования — Evolut™ R, Portico™ (St. Jude Medical, США) и Lotus Edge (Boston Scientific Corp. США), позволит снизить частоту коронарной обструкции.

б) Неоптимальное положение транскатетерного протеза (мальпозиция). Ранние системные исследования регистрировали до 15,3% случаев возникновения данного осложнения, которые в 5,4% потребовали второго транскатетерного протезирования или в 8,4% — попытки извлечения неуспешно имплантированного клапана с помощью ретриверов [57]. Современные модели протезов также не лишены данного недостатка, однако демонстрируют его значительно реже — в 6,2% случаев, а имплантация второго протеза потребовалась только в 3,4% из суммарно 1598 процедур "протез-в-протез" транскатетерного варианта репротезирования в исследовании Duncan (2019) [58]. Возможной первопричиной данного осложнения является слабая визуализация каркаса и элементов дисфункционального протеза, поскольку некоторые модели, особенно бескаркасные, могут быть полностью рентген-прозрачными, а, значит, интервенционный кардиолог не видит ориенти-

ров области имплантации для транскатетерного протеза (рисунок 5 А-В) [59]. Такой недостаток, безусловно, более характерен для баллонорасширяемых протезов, репозиционирование которых полностью исключено. Для современных самораскрывающихся транскатетерных клапанов возможна интраоперационная корректировка положения и значительное снижение частоты мальпозиции.

в) Высокий транспротезный градиент. Прежде всего данный недостаток касается репротезирования при массивной кальцификации и/или значимых объемах соединительной ткани, покрывающей дисфункциональный протез. Подобные механические ограничения, которые сложно полноценно оценить рентгенологически вследствие недостаточной разрешающей способности метода, становятся препятствием для полного симметричного раскрытия транскатетерного протеза и приводят к нарушению функции его створчатого аппарата непосредственно на "операционном столе". Регистр повторных вмешательств сообщает о частоте высоких остаточных градиентов (средний градиент >20 мм рт.ст.) в 28% случаев [57], что подтверждено и более поздними данными литературы [60]. Очевидно, что в транскатетерном случае репротезирования, интервенционный кардиолог не имеет прямого доступа к клапану, а, следовательно, не может иссечь крупные кальциевые элементы или паннус для устранения предпосылок такого осложнения. Именно поэтому пациенты с тяжелым кальциозом дисфункционального протеза и/или значимыми объемами соединительной ткани, по-видимому, не смогут стать кандидатами на такое репротезирование.

Заключение

Значимость проблемы дисфункции биопротезов клапанов сердца подтверждена распространенностью такого состояния и разнообразием клинических методик его коррекции: от открытого полного репротезирования до различных вариаций имплантации по типу "протез-в-протез". Все существующие подходы обладают рядом недостатков и не могут считаться однозначным "золотым стандартом" для большинства пациентов с дисфункциями биопротезов. Возможная комбинация некоторых преимуществ малоинвазивных методик — баллонного способа имплантации, с прямым щадящим (мини) доступом к области репротезирования может стать перспективной для разработки специального инструмента лечения данного состояния. Однако в существующей российской и зарубежной практике подобного устройства для повторных клапанных вмешательств не продемонстрировано.

Отношения и деятельность: все авторы заявляют об отсутствии потенциального конфликта интересов, требующего раскрытия в данной статье.

Литература/References

1. Kozlov BN, Petlin KA, Kosovskikh EA, et al. The first experience of using a valve-containing conduit with a biological aortic valve prosthesis and the "easy change". *Cardiology and cardiovascular surgery*. 2019;12(5):429-32. (In Russ.) Козлов Б.Н., Петлин К.А., Косовских Е.А. и др. Первый опыт использования клапаносодержащего кондуита с биологическим протезом аортального клапана и системой "easy change". *Кардиология и сердечно-сосудистая хирургия*. 2019;12(5):429-32. doi:10.17116/kardio201912051429.
2. Sellers SL, Blanke P, Leipsic JA. Bioprosthetic Heart Valve Degeneration and Dysfunction: Focus on Mechanisms and Multidisciplinary Imaging Considerations. *Radiol Cardiothorac Imaging*. 2019;1(3):e190004. doi:10.1148/ryct.2019190004.
3. Ivanov VA, Semenova EV, Evseev EP, et al. Long-term results of aortic valve replacement with biological prostheses of small diameter. *Cardiology and cardiovascular surgery*. 2019;12(2):116-21. (In Russ.) Иванов В.А., Семенова Е.В., Евсеев Е.П. и др. Отдаленные результаты протезирования аортального клапана биологическими протезами малого диаметра. *Кардиология и сердечно-сосудистая хирургия*. 2019;12(2):116-21. doi:10.17116/kardio201912021116.
4. Barbarash LS, Zhuravleva IYu. Bioprosthetic heart valve evolution: two decades of advances and challenges. *Complex problems of cardiovascular diseases*. 2012;1:4-11. (In Russ.) Барбараш Л.С., Журавлева И.Ю. Эволюция биопротезов клапанов сердца: достижения и проблемы двух десятилетий. *Комплексные проблемы сердечно-сосудистых заболеваний*. 2012;1:4-11.
5. Fedorov SA, Chiginev VA, Zhurko SA, et al. Clinical and hemodynamic results of applying different biological prosthesis models for correction of calcific aortic valve disease. *Modern technologies in medicine*. 2016;8(4):292-6. (In Russ.) Федоров С.А., Чигинев В.А., Журко С.А. и др. Клинические и гемодинамические результаты использования различных моделей биологических протезов для коррекции сенильных пороков аортального клапана. *Современные технологии в медицине*. 2016;8(4):292-6.
6. Zhuravleva IYu, Burkova TV, Rutkovskaya NV, et al. Potential of pharmacogenetics in the correction of anticoagulant therapy among patient with prosthetic heart valves. *Cardiovascular Therapy and Prevention*. 2013;12(3):24-8. (In Russ.) Журавлева И.Ю., Буркова Т.В., Рутковская Н.В. и др. Возможности использования фармакогенетического подхода для коррекции антикоагулянтной терапии у больных с протезами клапанов сердца. *Кардиоваскулярная терапия и профилактика*. 2013;12(3):24-8. doi:10.15829/1728-8800-2013-3-24-28.
7. 2021 ESC/EACTS Guidelines for the management of valvular heart disease. *Russian Journal of Cardiology*. 2022;27(7):5160. (In Russ.) 2021 Рекомендации ESC/EACTS по ведению пациентов с клапанной болезнью сердца. *Российский кардиологический журнал*. 2022;27(7):5160. doi:10.15829/1560-4071-2022-5160.
8. Shpilevoy NY, Vavilov PA, Zaytseva RS, et al. Aortic valve replacement using current bivalve prostheses: Immediate and late results On-X and MedEng-2. *Medical Journal of the Russian Federation*. 2011;17(4):22-7. (In Russ.) Шпилевой Н.Ю., Вавилов П.А., Зайцева Р.С. и др. Непосредственные и отдаленные результаты протезирования аортального клапана современными двустворчатыми протезами On-x и МедИнж-2. *Российский медицинский журнал*. 2011;17(4):22-7.
9. Babenko SI, Soboleva NN, Bakuleva NP, et al. Long-term results of mitral and aortic valve replacement with xenopericardial prosthesis "Biolab". *Complex problems of cardiovascular diseases*. 2018;7(2):61-70. (In Russ.) Бабенко С.И., Соболева Н.Н., Бакулева Н.П. и др. Отдаленные результаты имплантации ксеноперикардальных протезов "Биолаб" в позицию клапанов левых камер сердца. *Комплексные проблемы сердечно-сосудистых заболеваний*. 2018;7(2):61-70. doi:10.17802/2306-1278-2018-7-2-61-70.
10. Bondarenko NA, Surovtseva MA, Lykov AP, et al. Cytotoxicity of Xenogeneic Pericardium Preserved by Epoxy Cross-Linking Agents. 2021;13(4):27. (In Russ.) Бондаренко Н.А., Суровцева М.А., Лыков А.П. и др. Цитотоксичность ксеногенного перикарда, консервированного эпоксидными соединениями в качестве сшивающих агентов. *Современные технологии в медицине*. 2021;13(4):27. doi:10.17691/stm202113.4.03.
11. Odarenko YN, Rutkovskaya NV, Rogulina NV, et al. Analysis of 23-year experience epoxy treated xenoaortic bioprosthesis in surgery mitral heart disease. Research factors of recipients by positions of influence on the development of calcium degeneration. *Complex Issues of Cardiovascular Diseases*. 2015;4(4):17-25. (In Russ.) Одаренко Ю.Н., Рутковская Н.В., Рогулина Н.В. и др. Анализ 23-летнего опыта использования ксеноаортальных эпоксиобработанных биопротезов в хирургии митральных пороков сердца. Исследование факторов реципиента с позиций влияния на развитие кальциевой дегенерации. *Комплексные проблемы сердечно-сосудистых заболеваний*. 2015;4(4):17-25. doi:10.17802/2306-1278-2015-4-17-25.
12. Barbarash LS, Rogulina NV, Rutkovskaya NV, et al. Mechanisms underlying bioprosthetic heart valve dysfunctions. *Complex Issues of Cardiovascular Diseases*. 2018;7(2):10-24. (In Russ.) Барбараш Л.С., Рогулина Н.В., Рутковская Н.В. и др. Механизмы развития дисфункций биологических протезов клапанов сердца. *Комплексные проблемы сердечно-сосудистых заболеваний*. 2018;7(2):10-24. doi:10.17802/2306-1278-2018-7-2-10-24.
13. Kobelev E, Bergen TA, Tarkova AR, et al. A new look at structural changes in the aortic root in aortic valve stenosis. *Modern technologies in medicine*. 2022;14(2):51. (In Russ.) Кобелев Е., Берген Т.А., Таркова А.Р. и др. Новый взгляд на структурные изменения корня аорты при стенозе аортального клапана. *Современные технологии в медицине*. 2022;14(2):51. doi:10.17691/stm202214.2.05.
14. Barbarash LS, Karaskov AM, Semenovskiy ML, et al. Bioprostheses of heart valves in Russia: experience of three clinics. *Patologiya krovoobrashcheniya i kardiokirurgiya = Circulation Pathology and Cardiac Surgery*. 2011;2(2):21-6. (In Russ.) Барбараш Л.С., Караськов А.М., Семеновский М.Л. и др. Биопротезы клапанов сердца в России: опыт трех клиник. *Патология кровообращения и кардиохирургия*. 2011;2(2):21-6.
15. Imaev TE, Komlev AE, Kolegaev AS, et al. The current status of transcatheter heart valve replacement, using the valve-in-valve technique. *Consilium Medicum*. 2016;18 (5):89-92. (In Russ.) Имаев Т.Э., Комлев А.Е., Коллегаев А.С. и др. Современное состояние проблемы транскатетерного репротезирования клапанов сердца по методике "клапан-в-клапан". *Consilium Medicum*. 2016;18(5):89-92. doi:10.17116/kardio20158249-53.
16. Kozlars A, Makhdoum A, Butany J, et al. Modes of bioprosthetic valve failure: a narrative review. *Curr Opin Cardiol*. 2020;35(2):123-32. doi:10.1097/HCO.0000000000000711.
17. Murzabekova LI, Orlov VA. Various clinical factors' influence on long-term results of valve prosthetic surgery in heart valve disease. *Cardiovascular Therapy and Prevention*. 2005;4(1):72-7. (In Russ.)

- Мурзабекова Л. И., Орлов В. А. Влияние различных клинических факторов на отдаленные результаты хирургической коррекции пороков сердца путем протезирования клапанов. Кардиоваскулярная терапия и профилактика. 2005;4(1):72-7.
18. Rogolevich VV, Glushkova TV, Ponasenkov AV, Ovcharenko E. A. Infective Endocarditis Causing Native and Prosthetic Heart Valve Dysfunction. *Kardiologiya*. 2019;59(3):68-77. (In Russ.) Роголевич В. В., Глушкова Т. В., Понасенко А. В., Овчаренко Е. А. Инфекционный эндокардит как причина развития дисфункции клапанов сердца. *Кардиология*. 2019;59(3):68-77. doi:10.18087/cardio.2019.3.10245.
19. Bockeria LA, Milievskaya EB, Kudzoeva ZF, et al. Cardiovascular surgery — 2018. Diseases and congenital malformations of the circulatory system. Moscow: FGBU "NMICSSKH im. A. N. Bakuleva" MZ RF, 2019. p. 270. (In Russ.) Бокерия Л. А., Милевская Е. Б., Кудзоева З. Ф. и др. Сердечно-сосудистая хирургия — 2018. Болезни и врожденные аномалии системы кровообращения. Москва: ФГБУ "НМИЦССХ им. А. Н. Бакулева" МЗ РФ, 2019. с. 270. ISBN: 978-5-7982-0408-3.
20. Gabrielyan NI, Gorskaya EM, Arefieva LI, et al. Microflora of resected valves in patients with infective endocarditis. *Annals of Surgery*. 2012;(3):22-5. (In Russ.) Габриэлян Н. И., Горская Е. М., Арефьева Л. И. и др. Микрофлора резецированных клапанов пациентов с инфекционным эндокардитом. *Анналы хирургии*. 2012;(3):22-5.
21. Leroy O, Georges H, Devos P, et al. Infective endocarditis requiring ICU admission: epidemiology and prognosis. *Ann Intensive Care*. 2015;5(1):45. doi:10.1186/s13613-015-0091-7.
22. Stasev AN, Shukevich DL, Rutkovskaya NV, et al. The use of modern high-tech methods for redo heart valve replacement in high-risk patients: case report. *Complex Issues of Cardiovascular Diseases*. 2015;(3):85-90. (In Russ.) Стасев А. Н., Шукевич Д. Л., Рутковская Н. В. и др. Использование современных высокотехнологичных методов при выполнении повторных хирургических вмешательств у тяжелой категории пациентов. Клиническое наблюдение. Комплексные проблемы сердечно-сосудистых заболеваний. 2015;3:85-90. doi:10.17802/2306-1278-2015-3-85-90.
23. Karaskov AM, Zheleznev SI, Nazarov VM, et al. Clinico-morphological changes in dysfunctions of biological heart prostheses. *Patologiya krovoobrashcheniya i kardiokhirurgiya = Circulation Pathology and Cardiac Surgery*. 2006;(2):21-6. (In Russ.) Караськов А. М., Железнев С. И., Назаров В. М. и др. Клинико-морфологические изменения при дисфункциях биологических протезов сердца. *Патология кровообращения и кардиохирургия*. 2006;(2):21-6.
24. Barbarash LS, Stasev AN, Kokorin SG, et al. Immediate results of mitral valve-in-valve implantation for bioprosthetic valve dysfunction *Patologiya krovoobrashcheniya i kardiokhirurgiya = Circulation Pathology and Cardiac Surgery*. 2015;19(2):36-41. (In Russ.) Барбараш Л. С., Стасев А. Н., Кокорин С. Г. и др. Непосредственные результаты имплантации "Клапан-в-клапан" при дисфункциях биопротезов в митральной позиции. *Патология кровообращения и кардиохирургия*. 2015;19(2):36-41. doi:10.21688/1681-3472-2015-2-36-41.
25. Rogulina NV, Khalivopulo IK "Valve-On-Valve" — an alternative method of surgical treatment of tissue valve dysfunctions. *Russian Journal of Cardiology*. 2019;(8):140-9. (In Russ.) Роголина Н. В., Халивопуло И. К. "Valve-on-valve" — альтернативная методика хирургического лечения дисфункций биологических протезов клапанов сердца. *Российский кардиологический журнал*. 2019;(8):140-9. doi:10.15829/1560-4071-2019-8-140-149.
26. Miyairi S, Koide M, Kunii Y, et al. Redo mitral valve replacement using the valve-on-valve method. *Asian Cardiovasc Thorac Ann*. 2015;23(6):707-9. doi:10.1177/0218492314524206.
27. Santarpino G, Pfeiffer S, Concistrè G, et al. REDO aortic valve replacement: the sutureless approach. *J Heart Valve Dis*. 2013;22(5):615-20.
28. Tarasov RS, Imaev TE, Ganyukov VI, et al. Transcatheter reimplantation of bioprosthesis of the heart valve to a patient with critical aortic insufficiency later for 32 years after primary prosthetics. *Grudnaya i Serdechno-Sosudistaya Khirurgiya (Russian Journal of Thoracic and Cardiovascular Surgery)*. 2018;60(2):160-6. (In Russ.) Тарасов Р. С., Имаев Т. Э., Ганюков В. И. и др. Транскатетерная реимплантация биопротеза клапана сердца пациенту с критической аортальной недостаточностью спустя 32 года после первичного протезирования. *Грудная и сердечно-сосудистая хирургия*. 2018;60(2):160-6. doi:10.24022/0236-2791-2018-60-2-160-166.
29. Ganyukov VI, Shloido EA, Tarasov RS, et al. Transseptal transcatheter valve-in-valve implantation for failed surgical mitral bioprosthesis: the first clinical experience. *Patologiya krovoobrashcheniya i kardiokhirurgiya = Circulation Pathology and Cardiac Surgery*. 2020;24(1):94-103. (In Russ.) Ганюков В. И., Шлойдо Е. А., Тарасов Р. С. и др. Транссептальная транскатетерная имплантация биопротеза по методике "клапан-в-клапан" при дисфункции биологического протеза в митральной позиции: первый опыт. *Патология кровообращения и кардиохирургия*. 2020;24(1):94-103. doi:10.21688/1681-3472-2020-1-94-103.
30. Leontyev S, Borger MA, Modi P, et al. Redo aortic valve surgery: Influence of prosthetic valve endocarditis on outcomes. *J Thorac Cardiovasc Surg*. 2011;142(1):99-105. doi:10.1016/j.jtcvs.2010.08.042.
31. Chalmers J, Pullan M, Mediratta N, et al. A need for speed? Bypass time and outcomes after isolated aortic valve replacement surgery. *Interact Cardiovasc Thorac Surg*. 2014;19(1):21-6. doi:10.1093/icvts/ivu102.
32. Skopin II, Otarov AM, Kakhktsyan PV, et al. Aortic valve replacement in elderly and advanced age patients: analysis of preoperative risk factors. *Complex problems of cardiovascular diseases*. 2019;7(4S):24-35. (In Russ.) Скопин И. И., Отаров А. М., Кахкцян П. В. и др. Протезирование аортального клапана у больных пожилого и старческого возраста: анализ предоперационных факторов риска. *Комплексные проблемы сердечно-сосудистых заболеваний*. 2019;7(4S):24-35. doi:10.17802/2306-1278-2018-7-4S-24-35.
33. Balsam LB, Grossi EA, Greenhouse DG, et al. Reoperative valve surgery in the elderly: Predictors of risk and long-term survival. *Ann Thorac Surg*. 2010;90(4):1195-200. doi:10.1016/j.athoracsur.2010.04.057.
34. Kaneko T, Vassileva CM, Englum B, et al. Contemporary outcomes of repeat aortic valve replacement: A benchmark for transcatheter valve-in-valve procedures. *Ann Thorac Surg*. 2015;100(4):1298-304. doi:10.1016/j.athoracsur.2015.04.062.
35. Jones JM, O'kane H, Gladstone DJ, et al. Repeat heart valve surgery: risk factors for operative mortality. *J Thorac Cardiovasc Surg*. 2001;122(5):913-8. doi:10.1067/mtc.2001.116470.
36. Sobolev Yu A, Medvedev AP. Causes and results of valve replacement in congenital heart disease. *Bulletin of new medical technologies*. 2015;9(3):23. (In Russ.) Соболев Ю. А., Медведев А. П. Причины и результаты репротезирования клапанов при врожденных пороках сердца. *Вестник новых медицинских технологий*. 2015;9(3):23. doi:10.12737/13366.

37. Ivanov VA, Gavrilenko AV, M'yo SKh, et al. Repeated heart valve surgery (review). *Kardiologiya i Serdechno-Sosudistaya Khirurgiya*. 2015;8(2):49-53. (In Russ.) Иванов В. А., Гавриленко А. В., М'йо С. Х. и др. Повторные операции на клапанах сердца (обзор литературы). *Кардиология и сердечно-сосудистая хирургия*. 2015;8(2):49-53. doi:10.17116/kardio20158249.
38. Leontyev S, Borger MA, Davierwala P, et al. Redo aortic valve surgery: Early and late outcomes. *Ann Thorac Surg*. 2011;91(4):1120-6. doi:10.1016/j.athoracsur.2010.12.053.
39. Campanella C, Hider CF, Duncan AJ, et al. Must the mitral valve always be removed during prosthetic replacement? *Ann Thorac Surg*. 1990;49:167-8.
40. Raffa H, Al-Ibrahim K, Sorefan AA, et al. Superimposition of a mechanical valve on an impacted aortic bioprosthesis. *Texas Heart Inst J*. 1991;19(3):244.
41. Tamura Y, Kawata T, Kameda Y, et al. Re-do mitral valve replacement using the valve-on-valve technique: a case report. *Ann Thorac Cardiovasc Surg*. 2005;11(2):125-7.
42. Santana O, Tarrazzi FA, Lamelas J. Minimally Invasive Mitral Valve Replacement Using the Valve-in-valve Technique. *Innovations (Phila)*. 2009;4(4):221-4. doi:10.1097/IMI.0b013e3181b02871.
43. Furukawa T, Komiya T, Tamura N, et al. Replacement of a Degenerated Mitral Bioprosthesis Using a Valve-on-Valve Technique. *Jpn J Cardiovasc Surg*. 2007;36(1):58-62. doi:10.4326/jjcv.36.58.
44. Klyshnikov KYu, Ovcharenko EA, Stasev AN, et al. Experimental substantiation of the design of a prosthetic heart valve for "valve-in-valve" implantation. *Russian Journal of Transplantology and Artificial Organs*. 2017;19(2):69-77. (In Russ.) Клышников К. Ю., Овчаренко Е. А., Стасев А. Н. и др. Экспериментальное обоснование конструкции протеза клапана сердца для имплантации по типу "протез-в-протез". *Вестник трансплантологии и искусственных органов*. 2017;19(2):69-77. doi:10.15825/1995-1191-2017-2-69-77.
45. Klyshnikov KY, Ovcharenko EA, Batranin AV, et al. Компьютерное моделирование течения жидкости через биопротез клапана сердца. *Mathematical Biology and Bioinformatics*. 2018;13(2):338-47. (In Russ.) Клышников К. Ю., Овчаренко Е. А., Батранин А. В. и др. Компьютерное моделирование течения жидкости через биопротез клапана сердца. *Математическая биология и биоинформатика*. 2018;13(2):337-47. doi:10.17537/2018.13.337.
46. Inoue Y, Kotani S, Suzuki S. Chimney technique for aortic valve-on-valve replacement. *J Thorac Cardiovasc Surg*. 2018;155(1):68-9. doi:10.1016/j.jtcvs.2017.07.085.
47. Haverich A, Wahlers TC, Borger MA, et al. Three-year hemodynamic performance, left ventricular mass regression, and prosthetic-patient mismatch after rapid deployment aortic valve replacement in 287 patients. *J Thorac Cardiovasc Surg*. 2014;148(6):2854-60. doi:10.1016/j.jtcvs.2014.07.049.
48. Laborde F, Fischlein T, Hakim-Meibodi K, et al. Clinical and haemodynamic outcomes in 658 patients receiving the Perceval sutureless aortic valve: early results from a prospective European multicentre study (the Cavalier Trial). *Eur J Cardio-Thorac Surg*. 2016;49(3):978-86. doi:10.1093/ejcts/ezv257.
49. Dohmen PM, Lehmkuhl L, Borger MA, et al. Valve-in-Valve Replacement Using a Sutureless Aortic Valve. *Am J Case Rep*. 2016;17:699-702. doi:10.12659/ajcr.899374.
50. Chiariello GA, Villa E, Messina A, et al. Perceval valve-in-valve implant for full root xenograft failure. *J Card Surg*. 2017;32(9):567-70. doi:10.1111/jocs.13199.
51. Klyshnikov KU, Ovcharenko EA, Stasev AN, et al. In vitro study of a biological prosthetic valve for seamless fixation. *Russian Journal of Transplantology and Artificial Organs*. 2017;19(4):61-9. (In Russ.) Клышников К. Ю., Овчаренко Е. А., Стасев А. Н. и др. In vitro исследование биологического протеза клапана для бесшовной фиксации. *Вестник трансплантологии и искусственных органов*. 2017;19(4):61-9. doi:10.15825/1995-1191-2017-4-61-69.
52. Dasi LP, Hatoum H, Kheradvar A, et al. On the Mechanics of Transcatheter Aortic Valve Replacement. *Ann Biomed Eng*. 2017;45(2):310-31. doi:10.1007/s10439-016-1759-3.
53. Wendt D, Al-Rashid F, Kahlert P, et al. Conventional aortic valve replacement or transcatheter aortic valve implantation in patients with previous cardiac surgery. *J Cardiol*. 2015;66(4):292-7. doi:10.1016/j.jcc.2015.04.003.
54. Takagi H, Mitta S, Ando T. Meta-analysis of Valve-in-Valve Transcatheter versus Redo Surgical Aortic Valve Replacement. *Thorac Cardiovasc Surg*. 2019;67(4):243-50. doi:10.1055/s-0038-1668135.
55. Ole DB, Lars S. Redo-TAVR: What About the Coronary Arteries? *JACC Cardiovasc Interv*. 2020;13(22):2628-30. doi:10.1016/j.jcin.2020.10.005.
56. Bernardi FLM, Dvir D, Rodes-Cabau J, et al. Valve-in-Valve Challenges: How to Avoid Coronary Obstruction. *Front Cardiovasc Med*. 2019;6:1-8. doi:10.3389/fcvm.2019.00120.
57. Dvir D, Webb J, Brecker S, et al. Transcatheter Aortic Valve Replacement for Degenerative Bioprosthetic Surgical Valves. *Circulation*. 2012;126(19):2335-44. doi:10.1161/CIRCULATIONAHA.112.104505.
58. Duncan A, Moat N, Simonato M, et al. Outcomes Following Transcatheter Aortic Valve Replacement for Degenerative Stentless Versus Stented Bioprostheses. *JACC Cardiovasc Interv*. 2019;12(13):1256-63. doi:10.1016/j.jcin.2019.02.036.
59. Noorani A, Attia R, Bapat V. Valve-in-valve procedure: importance of the anatomy of surgical bioprostheses. *Multimed Man CardioThorac Surg*. 2014;2014:mmu020. doi:10.1093/mmcts/mm020.
60. Zenses A-S, Dahou A, Salaun E, et al. Haemodynamic outcomes following aortic valve-in-valve procedure. *Open Hear*. 2018;5(2):e000854. doi:10.1136/openhrt-2018-000854.