

Хирургия корня аорты и аортального клапана: история и современность

Для корреспонденции:

Сания Наилевна Одинокова,
saniya_odinokova@mail.ru

Поступила в редакцию 8 ноября 2019 г.
Исправлена 10 декабря 2019 г.
Принята к публикации 12 декабря 2019 г.

Цитировать:

Комаров Р.Н., Катков А.И., Пузенко Д.В., Одинокова С.Н., Николенко В.Н. Хирургия корня аорты и аортального клапана: история и современность. *Патология кровообращения и кардиохирургия*. 2019;23(4):9-25. <http://dx.doi.org/10.21688/1681-3472-2019-4-9-25>

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Финансирование

Исследование не имело спонсорской поддержки.

© Р.Н. Комаров, А.И. Катков, Д.В. Пузенко, С.Н. Одинокова, В.Н. Николенко, 2019.

Статья открытого доступа,
распространяется по лицензии
[Creative Commons Attribution 4.0](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

Р.Н. Комаров¹, А.И. Катков¹, Д.В. Пузенко¹, С.Н. Одинокова¹, В.Н. Николенко^{1,2}

¹ Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования Первый Московский государственный медицинский университет имени И.М. Сеченова Министерства здравоохранения Российской Федерации (Сеченовский университет), Москва, Российская Федерация

² Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова», Москва, Российская Федерация

Хирургия клапанов сердца начала развиваться в первой половине XX в. с попыток реконструктивных операций. С течением времени появились механические и биологические протезы, гомографты, различные пластические материалы, которые продолжают совершенствоваться и преобразовываться. Данный обзор посвящен историческим аспектам развития хирургии корня аорты и аортального клапана, упоминаются первые вмешательства, отражен вклад советских и российских хирургов в мировую хирургию. Статья будет интересна специалистам сердечно-сосудистой хирургии, а также широкому кругу читателей, желающих больше узнать об истории медицины и сердечно-сосудистой хирургии.

Ключевые слова: аортальный клапан; история хирургии; корень аорты

Введение

Хирургия корня аорты является одним из наиболее сложных и интересных разделов в сердечно-сосудистой хирургии. Согласно литературным источникам, еще до появления искусственного кровообращения в 1912 г. впервые в мире выполнена успешная операция на аортальном клапане, с этого события начинается развитие хирургического лечения заболеваний аортального клапана. История оперативных вмешательств прошла несколько этапов: от попыток использования подруч-

ных средств в целях уменьшения выраженности порока до внедрения в практику рентгенэндоваскулярных техник. Продолжают совершенствоваться методы защиты внутренних органов, расходные материалы, методы имплантации клапанов и сами клапаны, внедряются новые способы реконструктивных операций. Задачей данной обзорной статьи является попытка проследить основные вехи развития хирургии корня аорты и аортального клапана и систематизировать знания об истории и современном состоянии данной проблемы.

История развития хирургии аортального клапана

Развитие пластических и реконструктивных вмешательств на аортальном клапане

Как упоминалось ранее, первая успешная хирургическая коррекция аортального порока датируется 1912 г. Операцию выполнили пациенту 26 лет с клиникой прогрессирующей сердечной недостаточности на фоне тяжелого аортального стеноза. Французский хирург Т. Tuffier, не разрезая сердечных структур, с помощью пальца вдавил стенку аорты в отверстие аортального клапана и вслепую разрушил сращения створок аортального клапана. Пациент прожил 8 лет [1, 2]. Данное оперативное вмешательство, названное впоследствии закрытой комиссуротомией, положило начало хирургической коррекции аортальных пороков. Впервые в СССР закрытую митрально-аортальную комиссуротомию в 1957 г. выполнил С.А. Колесников.

Открытая комиссуротомия створок аортального клапана под контролем зрения впервые описана в 1956 г. [3, 4] с использованием гипотермии и вскоре после этого с использованием искусственного кровообращения [5, 6]. Длительное время данная процедура являлась предпочтительной при врожденном стенозе аортального клапана у молодых пациентов, тем не менее это всего лишь паллиативная операция, обеспечивающая первоначальную пользу и снижение риска внезапной смерти, но сопровождающаяся увеличением частоты повторных операций и в конечном итоге требующая замены аортального клапана [7, 8].

Попытки устранения пролапса створок аортального клапана начали предприниматься в 1970-х гг. Т. Komiya и соавт. предложили выполнять укорочение края створки вблизи комиссур, однако эта техника редко используется в настоящее время [9]. Исследования распределения нагрузки на аортальные створки во время диастолы показали, что напряжение является самым высоким в паракомиссурных областях свободного края створки [10]. А. Carpentier разработал метод треугольной резекции избыточной ткани створки с аппроксимацией остаточных частей [11]. Также А. Carpentier внедрил в практику циркулярный шов, «выбравание» утолщенного полулуния

створки, пластику перфоративных отверстий заплатой из аутоперикарда. Данные методы не потеряли актуальности и используются во многих клиниках. С. Duran и соавт. описали метод усиления свободного края створок с помощью двухслойного политетрафторэтиленового шва, проходящего вдоль свободного края от одной комиссуры к другой [12]. Эта техника может быть использована для коррекции незначительного удлинения свободного края. Однако «скользящая» природа шовного материала затрудняет определение правильной длины свободного края, что может привести к тому, что она будет слишком короткой или слишком длинной [13]. Наиболее преобладающим методом является центральная пликация или укорочение длины свободного края пролабирующей створки с помощью простых полипропиленовых швов 5-0 или 6-0.

Считается, что оптимальный уровень коаптации для аортального клапана находится примерно в средней точке высоты синусов аорты. Эффективная высота определяется как вертикальное расстояние от базального кольца до вершины центральной части свободного края створки, и оно должно быть более 8 мм после реконструкции. Специальный штангенциркуль (MSS-1, Fehling Instruments, Карлштейн, Германия) введен Н. Schäfers для измерения эффективной высоты во время операции [14].

В 2008 г. К. Fattouch и соавт. сообщили о новой «технике хорды». Она состоит из коррекции пролапса за счет укорочения длины свободного края и прикрепления выпадающего острия к стенке аорты в области синотубулярного соединения. Под контролем чреспищеводной эхокардиографии коаптацию регулируют путем натяжения швов [13].

Становление протез-заместительных технологий в хирургии аортального порока

В 1952 г. С.А. Hufnagel разработал первый искусственный клапан, состоящий из метилакрилатного шарика в «клетке», и имплантировал его в нисходящую аорту. Данный механизм использовался для предотвращения обратного потока крови в желудочки из-за аортальной недостаточности [15, 16]. Несмотря на то что протез установлен гетеротопически и аортальная регургитация

сохранялась (за счет крови из брахиоцефальных сосудов), существуют данные, что у некоторых пациентов он функционировал более 20 лет [17].

Кардиохирургия вообще и хирургия аортального клапана в частности получила бурное развитие во второй половине XX в. в связи с появлением аппарата искусственного кровообращения [18]. Аппарат искусственного кровообращения произвел революцию в клапанной хирургии, позволив вшивать новый клапан в анатомическое положение. В 1960 г. доктор D.E. Harken и коллеги провели первую успешную замену аортального клапана шариковым протезом собственного изготовления, установив его в субкоронарную позицию [19, 20]. Протез представлял собой корпус, четыре стойки, соединяющиеся у вершины и выполненные из нержавеющей стали, а также шарик из силиконовой резины. С тех пор разработаны около 70 видов различных механических клапанов сердца [21]: шаровые (Starr – Edwards, Smeloff-Cutter, DeBakey-Surgitool, «АКЧ»), дисково-поворотные (Bjork – Shiley, Lillehei – Kaster, Sorin Biomedica) и створчатые (St. Jude Medical, Medtronic-Hall, «Карбоникс», «МедИнж»).

В СССР создание шарового клапана сердца по инициативе хирургов Б.П. Петровского и Г.М. Соловьёва из клиники госпитальной хирургии Первого МГМУ им. И.М. Сеченова начали в 1962 г. специалисты Кирово-Чепецкого химического завода во главе с главным инженером Б.П. Зверевым. Первый отечественный шаровой аортальный клапан «АКЧ-01» создан в 1964 г. и в феврале того же года имплантирован человеку в НИИ клинической и экспериментальной хирургии Минздрава СССР Г.М. Соловьёвым [22].

Известно, что механические сердечные клапаны способны выполнять функцию около 25 лет, что является безусловным преимуществом. Однако предрасположенность к тромбозу, эмболии и необходимость пожизненной антикоагулянтной терапии являются основными недостатками.

В связи с вышеперечисленными причинами и небольшой распространенностью механических клапанов, во второй половине XX в. хирурги все шире начинают применять биологические протезы, которые могут быть классифицированы по материалу, из которого изготовлены. К ним относятся аутографты, гомографты и гетерограф-

ты (ксенотрансплантаты, гетеротрансплантаты). Отцами применения гетерографтов являются С. Duran и А. Gunning из Оксфорда, которые в 1964 г. посадили первый свиной лиофилизированный аортальный клапан в анатомическое положение пациенту, который умер 24 ч спустя от причины, не связанной с операцией [23]. В следующем году первый клинически успешный имплантат выполнен J. Binet, С. Duran, А. Carpentier и J. Langlois в Париже. 48-летней женщине кальцинированный аортальный клапан заменен на свиной, обработанный по специальной технологии ртутьсодержащим раствором [24]. Эти процедуры положили начало использованию биологических клапанов в кардиохирургии, и в 1971 г. А. Carpentier официально ввел термин «биопротез» [25]. Со временем биологические клапаны совершенствовались, их начали обрабатывать раствором глутарового альдегида и устанавливать в металлический каркас [26].

Разработка ксенотрансплантатов продолжала активно развиваться. В 1971 г. I. Shiley создал протез аортального клапана, представляющий собой бычий перикард, зафиксированный на титановом стенте, но позже он был отозван из-за структурной недостаточности, включавшей абразивные разрывы и выраженную кальцификацию створок. Эти проблемы преодолены с помощью бычьего перикардального клапана Carpentier – Edwards, претерпевшего такие изменения, как сшивание с внутренней стороны ткани и использование гибких стентов [27].

В клинической практике используются два вида биологических гетерографтов: каркасные и бескаркасные. Каркасные биопротезы имеют единую внешнюю опорную конструкцию, к которой крепятся створки аортального клапана свиньи или бычьего перикарда. Данное строение обеспечивает структурную стабильность и облегчает имплантацию. За последние 5 десятилетий на рынке вышло три поколения каркасных ксенотрансплантатов. Последнее поколение отличается большей устойчивостью к кальцификации и стабилизации коллагена, более тонкими и гибкими стентами, наличием зубчатых колец для шитья. Примеры часто используемых каркасных биоклапанов: клапаны из бычьего перикарда Carpentier – Edwards Perinount (Edwards Life Sciences, Ирвайн,

США), St. Jude Trifecta (St. Jude Medical Inc., Сент-Пол, США) свиной аортальный клапан Medtronic Mosaic (Medtronic, Миннеаполис, США) [28].

Бескаркасные биоклапаны (без структурной поддержки стентом) разработаны для уменьшения препятствия, создаваемого в кольце аорты. Отсутствие каркаса позволяет имплантировать протез больше по диаметру (размеру), чем это было бы возможно при использовании каркасного биологического или механического клапана, что способствует увеличению эффективной площади отверстия, оптимизирует гемодинамические показатели, уменьшает трансклапанные градиенты, увеличивает общую долговечность. Первым современным клапаном без стента был свиной клапан Toronto Stentless (St. Jude Medical Inc., Сент-Пол, США). Примеры других клапанов без стента: Cryolife-O'Brien Model 300 (CryoLife International Inc., Kennesaw, GA), Edwards Prima Plus (Edwards Lifesciences, Ирвайн, США) и Medtronic Freestyle (Medtronic, Миннеаполис, США). Два последних являются примерами биопротеза корня аорты [29].

Исследования, посвященные биологическим протезам клапанов сердца в России, начали проводиться с 1966 г. Центрами разработки и организации производства биопротезов клапанов сердца стали НМИЦ ССХ им. А.Н. Бакулева (биопротез «Бионикс») и Российский научный центр хирургии имени академика Б.В. Петровского (биопротез «БАКС»). В 1968 г. в нашей стране выполнены первые операции с использованием биологических протезов клапанов сердца Г.И. Цукерманом и Г.М. Соловьёвым [30].

Еще одна разновидность биоклапанов — бесшовные клапаны. Это современная технология, применяемая в кардиохирургии у пациентов высокого риска, которая позволяет быстро установить биопротез без пришивания к фиброзному кольцу аортального клапана. Данная идея апробирована в 60-х гг. XX в. с основной целью — сделать проще имплантацию и уменьшить время ишемии миокарда и искусственного кровообращения [31]. Однако концепцию отвергли из-за большого количества осложнений, таких как параклапанные фистулы и связанные с клапаном тромбэмболические осложнения. В связи с развитием малоинвазивных методик снова возник интерес к бесшовным клапанам.

Один из наиболее популярных бесшовных клапанов — это Perceval S от Sorin, состоящий из бычьего перикарда, установленного в самораскрывающийся каркас, и манжеты из полиэстера. Операция с использованием данного клапана так же, как и стандартное протезирование, проходит с кардиopleгией, искусственным кровообращением, аортотомией и иссечением пораженных створок. Время хирургического вмешательства сокращается за счет быстрой бесшовной имплантации клапана (для более точной имплантации используют один-два направляющих шва с их фиксацией). Удаление нативного клапана и имплантация протеза под контролем зрения позволяют свести к минимуму известные осложнения, присущие рентгенэндоваскулярным методикам. По данным нескольких крупных клинических исследований, клапан Perceval S является безопасным протезом, который прост в имплантации, его использование сокращает время искусственного кровообращения и зажима на аорте по сравнению с каркасными биоклапанами. Данные подчеркивают положительный эффект применения бесшовного протеза аортального клапана Perceval S у пожилых пациентов [32, 33].

Хотя биологические клапаны отличаются лучшими гемодинамическими характеристиками, приближающимися к нативному клапану, по сравнению с механическими клапанами, они имеют более короткий срок службы из-за довольно быстрого развития кальциноза и дегенерации, что ограничивает их применение, особенно у пациентов молодого возраста.

Гомографты и аутографты в хирургии аортального клапана

Популярным во второй половине XX в. стало использование трупных гомографтов. В 1954 г. G. Murray выполнил успешную имплантацию гомографта корня аорты в гетеротопическую позицию сначала в эксперименте на собаках, а затем и человеку [34]. Первый пациент, которому оказано подобное лечение, страдал выраженной недостаточностью аортального клапана. Гомографт получен у трупа 32 лет через 36 ч после смерти. Его установили в нисходящую часть грудной аорты сразу за левой подключичной артерией. После операции сердце пациента значительно умень-



Рис. 1. Donald Nixon Ross [83]

шилось в размерах. Выслушать характерную аускультативную картину аортального клапана с помощью стетоскопа можно было в средней части спины.

Трупный гомографт в ортотопическую позицию впервые в мире в июле 1962 г. при тотальном кальцинозе аортального клапана имплантировал британский кардиохирург D.N. Ross (рис. 1), он опирался на работы С. Duran и А. Gunning [35]. Пациент прожил 3 года. [36, 37]. В том же году, работая независимо, В. Barrett-Boyes также описал подобный успешный случай [38].

С течением времени выяснилось, что гомографты подвергаются быстрой деградации и кальцинированию в позиции аортального клапана, что побудило D.N. Ross в 1967 г. выполнить замену корня аорты на аутографт клапана легочного ствола, а вместо последнего вшить тррупный гомографт [39] (рис. 2). D.N. Ross основывался на работах, опубликованных N. Shumway, в которых он описывал в эксперименте на собаках технику проведения данного оперативного вмешательства. Основными преимуществами этой методики являются рост легочного аутографта вместе с пациентом, отсутствие иммунологического ответа и необходимости в антикоагулянтной терапии. Также данная методика отличается низкой частотой тромбоземболических и геморрагических осложнений и устойчивостью аутографта к дегенеративным изменениям [40]. Однако длительное время

операция Росса не находила широкого применения, что объяснялось ее технической сложностью. После 1991 г., когда автор методики опубликовал отдаленные результаты, операция Росса обрела сторонников. Доноры органов, сердца которых по каким-либо причинам не используются для трансплантации, являются источниками аортальных гомографтов. Также источниками аортальных гомографтов могут стать сами реципиенты при отсутствии изменений в корне аорты. Для стерили-

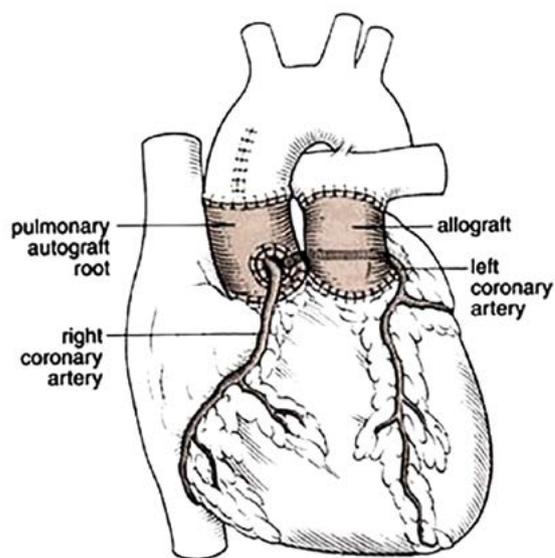


Рис. 2. Результат операции Росса [84]



Рис. 3. Clarence Walton Lillehei [85]

лизации и хранения гомотрансплантата аортального клапана необходимы специальные условия. Предпочтительным методом стерилизации является инкубация с фармакологическими дозами антибиотиков и хранение путем криоконсервации при $-196\text{ }^{\circ}\text{C}$. Первую показательную процедуру Росса в России выполнил израильский кардиохирург В.А. Видне в НМИЦ им. ак. Е.Н. Мешалкина в 1998 г. Через 2 мес. в том же центре Ю.Н. Горбатов с бригадой хирургов провели две подобные операции. Данная методика продолжает использоваться в большей степени в детской кардиохирургии [41]. В РФ процедура Росса выполняется в крупных кардиохирургических центрах и наибольшим опытом в ее проведении обладают А.М. Караськов и И.И. Чернов.

Технологии неоконспидализации аортального клапана: история и современность

В 1956 г. С.В. Lillehei (рис. 3) выполнил первую успешную пластику створок аортального клапана пациенту с выраженной аортальной регургитацией. Проведено сшивание двух створок, тем самым устранены пролапс и недостаточность [6]. В 1959 г. впервые применен синтетический материал для замены створок аортального клапана. Н.Т. Bahnson пациенту с тяжелым стенозом выполнил комиссуротомию и удаление кальци-

нированной створки с оставлением небольшого бортика, к которому впоследствии пришел тефлоновую неостворку [42]. В 1964 г. V.O. Bjork и G. Hultquist предложили идею создания створок из аутоперикарда. Однако результаты обеих методик оставляли желать лучшего. Помимо быстрой деградации, тефлоновые и аутоперикардальные створки отличались крайне низкой прочностью, что приводило к рецидиву порока [43]. С целью решения данной проблемы в 1986 г. предложен способ обработки аутоперикарда 0,6% раствором глутарового альдегида, что повышает прочность и срок эксплуатации неостворок, а также уменьшает антигенные свойства ткани [44].

В 2007 г. S. Ozaki с соавт. предложили оригинальную методику полного восстановления аортального клапана из аутоперикарда. Ее возможно применять при широком спектре заболеваний аортального клапана, включающих аортальный стеноз, аортальную недостаточность, инфекционный эндокардит как нативного клапана, так и протеза, аннулоаортальную эктазию [45]. Оригинальный метод Ozaki заключается в иссечении створок патологического клапана, выкраивании неостворок из фиксированного в 0,6% растворе глутарового альдегида аутоперикарда по специ-



Рис. 4. Оригинальный набор инструментов Ozaki [86]

ально разработанным шаблонам и пришиванию их в позицию удаленных створок. Для измерения межкомиссуральных расстояний используются оригинальные измерители (рис. 4). Каждому межкомиссуральному расстоянию соответствует шаблон определенного размера. Ранее по схожей методике имплантировались бескаркасные клапаны из аутоперикарда, однако они представляют собой одну полноценную структуру [46–48]. Отличие данной методики в том, что 3 створки из аутоперикарда пришиваются независимо друг от друга и могут быть разных размеров. Авторы считают, что независимая замена створок более эффективна в сохранении естественных движений кольца аортального клапана и координации между работой левого желудочка, кольцом аорты и синусами Вальсальвы. К 2014 г. S. Ozaki и соавт. прооперировали по данной методике 404 пациента и оценили ближайшие результаты (средний срок наблюдения за пациентами составил 23 мес.): авторам не пришлось прибегнуть ни к одной конверсии в протезировании аортального клапана, в раннем послеоперационном периоде зафиксировано всего 7 внутрибольничных летальных исходов от некардиальных осложнений, при выписке из стационара пиковый градиент на аортальном клапане соста-

вил 13,8 + 10,2 мм рт. ст., двум пациентам выполнена реоперация из-за инфекционного эндокардита, авторы зафиксировали полное отсутствие тромбоэмболических осложнений без применения антикоагулянтной терапии [45].

В России накоплен большой опыт проведения операции по методике Ozaki. Ее выполняют в крупных кардиохирургических центрах Москвы (Первый МГМУ им. И.М. Сеченова — Р.Н. Комаров), Пензы (Федеральный центр сердечно-сосудистой хирургии — Е.В. Россейкин), Астрахани (Федеральный центр сердечно-сосудистой хирургии — И.И. Чернов) и др. Результаты российских хирургов по публикациям сопоставимы с мировыми. Е.В. Россейкин и соавт. в статье 2016 г. [49] сравнивает непосредственные эхокардиографические характеристики протезирования створок аортального клапана аутоперикардом по методике Ozaki и протезирования аортального клапана каркасными биологическими протезами Medtronic HANCOCK® II T505 CINCH® II и Carpentier – Edwards PERIMOUNT. В группе пациентов, которым выполнялась операция Ozaki, зарегистрированы достоверно более низкие значения градиентов давления на аортальном клапане и большие эффективная и индексированная эффективная площади отверстия по сравнению с



Рис. 5. Hugh Henry Bentall [87]

группой пациентов с Medtronic HANCOCK®II T505 и Carpentier – Edwards PERIMOUNT. Тем не менее время искусственного кровообращения и ишемии миокарда у больных при неокуспидализации створок аортального клапана несколько выше, по сравнению с имплантацией каркасных биологических протезов, однако сохранение нормальной анатомии корня аорты позволяет делать более оптимистичные прогнозы в отдаленные сроки у группы пациентов, оперированной по методу Ozaki. Данную методику можно рассматривать как один из вариантов хирургического пособия для пациентов с узким фиброзным кольцом аортального клапана, особенно с высоким риском пациент-протезного несоответствия при использовании каркасного биологического протеза [50].

Существует несколько модификаций операции Ozaki. Авторские методики, смысл которых в полной реконструкции аортального клапана из аутоперикарда либо из ксеноперикарда, различаются видами измерителей и шаблонов. Так, например, при операции Benaki используются измерители, сделанные из гибкого материала нитинола, в отличие от жестких измерителей Ozaki. Благодаря особым свойствам этого материала, измерители

можно моделировать, придавая им нужную форму и позволяя более удобно измерять расстояние между комиссурами, далее они же используются как шаблоны, по которым выкраивается створка. Помимо усовершенствованных измерителей в операции Benaki применяется специальный «трехлапчатый» пинцет для комфортности создания неостворок аортального клапана [51].

История развития хирургии корня аорты

Пионером разработки хирургического лечения патологии корня аорты является Н.Н. Bentall (рис. 5). В 1966 г. он изготовил клапаносодержащий конduit, состоящий из шарового протеза Starr – Edwards, пришитого к тефлоновому протезу аорты, и имплантировал его в аортальное кольцо пациенту с аневризмой корня аорты, а затем вшил устья коронарных артерий [52]. За полвека операция Bentall претерпела изменения, хотя сохранила общий принцип и продолжает оставаться «золотым стандартом» в хирургии корня аорты. Медицинские производители выпускают готовые кондуиты, содержащие либо механический, либо биологический клапан. Также изменения коснулись протеза аорты: все чаще начинают использовать Valsalva conduit. Дизайн такого сосудисто-

го трансплантата имитирует геометрию синусов Вальсальвы и позволяет создать анатомическую конфигурацию, аналогичную естественному корню аорты [53]. Со временем техника наложения анастомозов с устьями коронарных артерий претерпела некоторую трансформацию — модификацию Cabrol, при которой коронарные артерии соединяются с отдельным сосудистым протезом, который затем вшивался в конduit по типу «бок-в-бок» [54, 55]. Кроме того, формируется сообщение между парапротезным пространством и правым предсердием, что позволяет избежать кровотечений в послеоперационном периоде. В 1981 г. N. Kouchoykos предложил модификацию, при которой устья коронарных артерий вшиваются на площадках в конduit по типу «конец-в-бок» [56].

Бурное развитие пластическая хирургия корня аорты и аортального клапана получает только в конце XX в. Пионерами клапаносохраняющей хирургии корня аорты являются M.H. Yasoub и T.E. David [57].

Операция Дэвида является одной из первых в истории полноценных клапаносохраняющих операций при аневризме корня аорты. В 1989 г. T.E. David выполнил и подробно описал в последующем технику данного вмешательства и его результаты [58]. Операцию Дэвида выполняют большое количество медицинских центров по всему миру. Классическая операция Дэвида заключается в иссечении синусов Вальсальвы, замещении корня и восходящего отдела аорты дакроновым протезом от уровня выносящего тракта левого желудочка с «подвешиванием» створок клапана внутри протеза и реимплантацией устьев коронарных артерий в протез корня аорты.

Ранее, в 1978 г. M. Yasoub выполнил ремоделирование корня аорты и в статье подробно описал технику данной процедуры [59]. Выполняется она при схожих показаниях, что и операция Дэвида [60]. Протезирование аорты выполняется сосудистым протезом, выкроенным в форме трехлепестковой короны; створки аортального клапана подшиваются к краям «лепестков». Недостатком операции Якуба является ограничение использования у больных с расширением фиброзного кольца либо необходимость в дополнительной стабилизации в этой области (полоской политетрафторэтилена, опорным кольцом и т. п.), что

Основные события в развитии мировой хирургии корня аорты и аортального клапана:

- 1912 г. — закрытая комиссуротомия створок аортального клапана (Th. Tuffier);
- 1952 г. — установка механического клапана в гетеротопическую позицию при аортальной недостаточности (C.A. Hufnagel);
- 1954 г. — установка гомографта в гетеротопическую позицию (G. Murray);
- 1956 г. — открытая комиссуротомия створок аортального клапана (F.J. Lewis);
- 1956 г. — бикуспидализация аортального клапана (C.W. Lillehei);
- 1959 г. — применение тефлона для пластики створок аортального клапана (H.T. Bahnson);
- 1960 г. — установка механического клапана в позицию аортального клапана (D.E. Harken);
- 1962 г. — установка гомографта в позицию аортального клапана (D.N. Ross);
- 1962 г. — раздельное протезирование аортального клапана и восходящей аорты (M.W. Wheat Jr.);
- 1964 г. — применение аутоперикарда для пластики створок аортального клапана (V.O. Bjork, G. Hultquist);
- 1964 г. — установка биологического клапана в позицию аортального клапана (C. Duran и A. Gunning);
- 1966 г. — протезирование корня аорты клапаносодержащим кондуитом (H.H. Bentall);
- 1967 г. — установка в позицию аортального клапана легочного аутографта, в позицию клапана легочной артерии гомографта (D.N. Ross);
- 1979 г. — ремоделирование корня аорты (M.H. Yasoub);
- 1985 г. — баллонная вальвулопластика аортального клапана (A. Cribier);
- 1989 г. — реимплантация корня аорты (T.E. David);
- 2002 г. — транскатетерная имплантация аортального клапана (A. Cribier);
- 2007 г. — неокуспидализация аортального клапана (S. Ozaki).

усложняет операцию и удлиняет время искусственного кровообращения и ишемии миокарда. При отсутствии стабилизации в области аортального кольца существует вероятность прогрессирования процессов расширения комплекса корня аорты и рецидива аортальной недостаточности. В случае реимплантации (операции Дэвида) достигается стабилизация всех элементов корня аорты, значительно снижается вероятность рецидива недостаточности аортального клапана, а также сохраняется наиболее физиологичный клапан-аортальный комплекс, что делает этот метод, на наш взгляд, наиболее предпочтительным в использовании [61].

Учитывая высокую техническую сложность и длительность реконструктивных операций, в 2005 г. P. Hess предложил методику Florida Sleeve — клапаносохраняющее экзопротезирование корня аорты. Данная техника подразумевает реимплантацию всего корня аорты в дакроновый протез без необходимости реимплантации устьев коронарных артерий [62], при этом сохраняются синусы Вальсальвы, что является одним из предикторов долгосрочного функционирования аортального клапана, а отсутствие травмирования створок о стенки протеза снижает риск склероза и эндокардита аортального клапана [63]. Эта методика позволила по-новому взглянуть на сохранение аортального клапана. Как и операция Дэвида, Florida Sleeve предполагает стабилизацию фиброзного кольца аортального клапана [64], однако технически является более простой и менее продолжительной по времени, что впоследствии снижает риск развития послеоперационных осложнений. На сегодняшний день описаны многочисленные варианты вышеупомянутых оригинальных клапаносохраняющих процедур.

Если говорить о дилатации кольца аортального клапана, существуют различные подходы для уменьшения расширенного диаметра от шовной аннулопластики до специализированных колец аорты. Первая попытка устранения аннулоэктазии предпринята W. Taylor и соавт. в 1958 г., который провел на бьющемся сердце подклапанную аннулопластику аорты циркулярным швом с обнадеживающими результатами у 11 пациентов [65].

Идеальная аннулопластика аорты должна обеспечивать хорошие гемодинамические характеристики клапана, биосовместимость, стабильность уменьшенного диаметра кольца и быть легко имплантируемой без затрагивания структур проводящей системы или ткани створок.

На рынке существуют различные типы аортальных колец: внутренние, наружные, комбинированные, плоской и изогнутой формы. Первое кольцо для внутренней аннулопластики впервые разработано С. Duran в 1993 г., оно состояло из титанового стента сигмовидной формы, покрытого дакроном [66]. В опытах на овцах прототипы показали быструю эндотелизацию в каждом имплантированном кольце без гемолиза, тромбэмболических осложнений, разрушения нативной клапанной ткани. В клинической практике Н. Naydar и соавт. использовали внутреннее аннулопластическое кольцо, представляющее три полоски тефлона, или обработанный глутаральдегидом перикард, пришитый к линии прикрепления створок аортального клапана. Восемью пациентам имплантированы подобные устройства [67].

Первые кольца для внешней аннулопластики разработаны S. Reimold и соавт. в 1994 г. Один прототип имел металлическую структуру сигмовидной формы; другой имел акриловую структуру, открытую с одной стороны, где можно было использовать шнур для регулировки диаметра кольца. Испытания на людях не проводились [68].

T.E. David и соавт. в 1996 г. имплантировали неполный субаннулярный бэнд из дакрона, прикрепив его к «фиброзной части» кольца аортального клапана в сочетании с ремоделированием корня аорты, 26 пациентам с аневризмой корня аорты. Согласно более поздним результатам, опубликованным в 2006 г., аннулопластика аорты не оказала влияния на рецидив аортальной недостаточности и не смогла предотвратить дальнейшее расширение кольца аорты [69].

В начале XX в. D. Aicher и соавт. предложили дополнение к процедуре ремоделирования с наложением субаннулярного шва из политетрафторэтилена, завязанного вокруг дилататора Гегара, когда диаметр основания кольцевого отдела аорты превышает 27 мм. Воспроизводимость и долговеч-

ность кольцевого шва в настоящее время оцениваются [70].

Наличие у пациента измененных створок аортального клапана ограничивает применение реконструктивных операций. В связи с чем в Первом МГМУ им. И.М. Сеченова впервые в РФ в 2018 г. разработана и выполнена операция Ozaki + David. Оригинальный способ заключается в полном протезировании всех структур корня аорты и включает в себя удаление измененных тканей восходящей аорты, синусов Вальсальвы, при этом иссекают пораженные створки аортального клапана с последующим пришиванием к фиброному кольцу трех створок, выкроенных из обработанного глутаровым альдегидом аутоперикарда. После чего воссозданный корень аорты реимплантируют в тубулярный дакроновый протез, согласно патенту RU2664189C1 (режим доступа: <https://patentinform.ru/inventions/reg-2664189.html>).

Еще один метод воссоздания неокорня аорты, предложенный Р.Н. Комаровым, — операция Bentall + Ozaki (Moscow conduit), альтернатива операции David + Ozaki, отличие которой заключается в том, что створки из аутоперикарда сначала пришиваются в продольно разрезанный дакроновый протез (до начала этапа искусственного кровообращения), затем уже сформированный конduit имплантируют в корень аорты. Это позволяет вдвое сократить время искусственного кровообращения и упростить технический этап операции по сравнению с методикой David + Ozaki. В настоящее время по методам Ozaki + David и Bentall + Ozaki прооперировано в клинике аортальной и сердечно-сосудистой хирургии Первого МГМУ им. И.М. Сеченова более 20 пациентов. Средний срок наблюдения максимально составил 18 мес. По полученным данным можно судить, что оба предложенных способа можно считать безопасными, свободными от реопераций, дегенеративных изменений клапана, тромбозомболий, эндокардита в раннем и отдаленном послеоперационных периодах. Подобные модифицированные и (или) комбинированные процедуры восстановления корня аорты и одновременной неокуспидализацией аортального клапана в России также выполняют в Пензе (Е.В. Россейкин) и Астрахани (И.И. Чернов).

Основные события в развитии советской и российской хирургии корня аорты и аортального клапана:

- 1957 г. — закрытая комиссуротомия створок аортального клапана (С.А. Колесников);
- 1964 г. — применение тефлона для пластики створок аортального клапана (С.А. Колесников);
- 1964 г. — установка механического клапана в позицию аортального клапана (Г.М. Соловьёв);
- 1968 г. — установка биологического клапана в позицию аортального клапана (Г.И. Цукерман и Г.М. Соловьёв);
- 1973 г. — раздельное протезирование аортального клапана и восходящей аорты (Г.И. Цукерман);
- 1979 г. — протезирование корня аорты клапаносодержащим кондуитом (Г.И. Цукерман);
- 1998 г. — установка в позицию аортального клапана легочного аутографта, в позицию клапана легочной артерии гомографта (Ю.Н. Горбатов);
- 1999 г. — ремоделирование корня аорты (А.И. Малашенков);
- 2009 г. — транскатетерная имплантация аортального клапана (Л.А. Бокерия и Б.Г. Алекян);
- 2016 г. — неокуспидализация аортального клапана (Е.В. Россейкин, в 2017 г. Р.Н. Комаров);
- 2018 г. — процедура David + Ozaki (Р.Н. Комаров);
- 2018 г. — процедура Bentall + Ozaki (Moscow conduit) (Р.Н. Комаров, Е.В. Россейкин, в 2019 г. И.И. Чернов).

История рентгенэндоваскулярных методов лечения аортальных пороков

Количество пациентов пожилого и старческого возраста, нуждающихся в оперативной коррекции приобретенного порока аортального клапана, главным образом стеноза, с различными сопутствующими хроническими заболеваниями увеличивается. В многочисленных исследованиях отражено, что протезирование аортального клапана среди пациентов старших возрастных групп с выраженной сопутствующей патологией сопряжена с достаточно высоким уровнем госпитальной летальности, которая, по данным разных авторов, достигает 11–15% [71, 72]. В связи с этим широко начали развиваться рентгенэндоваскулярные методы лечения пороков аортального клапана.

Впервые в мире А. Cribier в 1985 г. выполнил баллонную вальвулопластику клапана пациенту с критическим аортальным стенозом [73]. В нашей стране весомый вклад в развитие данной методики внесли В.А. Силин и В.К. Сухов [74]. Процедура заключалась в заведении баллона через бедренную артерию и последующем раздувании внутри стенозированного аортального клапана. Результатом было существенное увеличение эффективной площади отверстия аортального клапана, снижение градиента давления на нем, уменьшение симптомов сердечной недостаточности. Ранние результаты радовали, но с течением времени и накоплением опыта обнаружилось, что частота рестенозов достигала 80% через 6 мес. после вмешательства, что приводило к необходимости повторной операции [74, 75]. Тем не менее данная методика стала основой развития инновационного метода транскатетерного протезирования аортального клапана.

Транскатетерная имплантация аортального клапана (англ. Transcatheter Aortic Valve Implantation) — альтернатива открытой хирургической замены аортального клапана. Метод заключается в протезировании аортального клапана сердца через кровеносные сосуды без использования искусственного кровообращения и открытого доступа к сердцу. Доставка клапана чаще осуществляется одним из нескольких способов: трансапикальным, трансфеморальным,

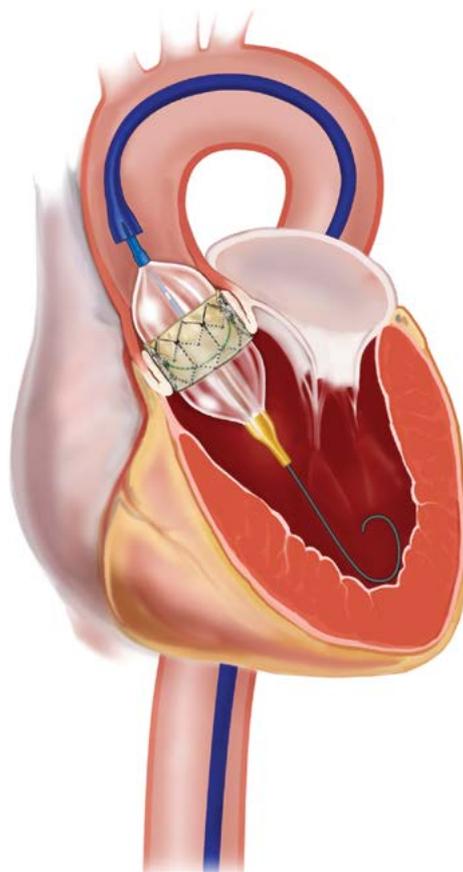


Рис. 6. Схема транскатетерной имплантации аортального клапана [88]

подключичным или транскавальным (редко) под ангиографическим контролем. В позицию пораженного аортального клапана устанавливается биологический протез, фиксированный на металлическом стенте (рис. 6). Клапан сразу начинает полноценно выполнять свою функцию [76].

Данная процедура изобретена и разработана в Университетской больнице Дании в 1989 г. Н.Р. Andersen [77], который выполнил первые транскатетерные имплантации аортального клапана животным [78]. Человеку впервые выполнена успешная транскатетерная имплантация аортального клапана в 2002 г. командой французских хирургов во главе с А. Cribier [79] в Больнице Шарля Николле Университета Руана. Пациенту 57 лет с декомпенсированным критическим стенозом, значительной дисфункцией левого желудочка (фракция изгнания 12%) и

множественной сопутствующей патологией имплантирован протез, состоящий из фиксированных на стенке бычьих створок. После процедуры отмечалось улучшение клинического состояния, выраженное снижение градиента систолического давления между левым желудочком и аортой и минимальная недостаточность на клапане. Операция прошла успешно, и ее результаты стали фундаментом для развития новейшей прорывной технологии. С того времени до сегодняшнего дня разрабатываются и выпускаются различные виды транскатетерных протезов клапана. По основным технологическим характеристикам все клапаны можно разделить на две группы: баллон-расширяемые (англ. Balloon-expandable Valve) и саморасширяющиеся (англ. Self-expanding Valve) [80]. Из них наибольшую популярность и доказательную базу получили Edwards SAPIEN XT™ (Edwards Life Sciences Inc., США) и CoreValve™ Revalving System (Medtronic CoreValve Inc., США) [81]. В нашей стране производится клапан для трансапикальной имплантации со створками из политетрафторэтилена, для которого также разработана система трансфеморальной доставки (ЗАО НПП «МедИнж», Пенза, Россия; активно внедряют технологию В.В. Базылев, А.Б. Воеводин).

Подобную операцию впервые в стране выполнили 26 мая 2009 г. Л.А. Бокерия и Б.Г. Алекян. Использован клапан Edwards Sapien с трансапикальным (гибридным) доступом [82]. Наибольшим в РФ опытом по проведению транскатетерной имплантации аортального клапана, в частности трансапикальной имплантации, наиболее известных зарубежных протезов обладает Т.Э. Имаев (НМИЦ кардиологии).

На данный момент транскатетерная имплантация аортального клапана одобрена более чем в 50 странах и развивается в различных направлениях: совершенствуются способы имплантации, улучшаются системы доставки устройств, расширяются показания, а также ведутся дискуссии о выборе наилучшего доступа и применении метода междисциплинарного взаимодействия.

Заключение

Несмотря на многовековые наблюдения и поиск оптимальных путей лечения заболеваний аортального клапана и корня аорты, настоящий про-

рыв в этом направлении произошел лишь в XX в. Безусловно, этому способствовало накопление знаний и развитие смежных дисциплин. Сложно представить подобные успехи без развития анестезиологии и реанимации с современными методами обезболивания и искусственной вентиляции легких, без появления искусственного кровообращения, диагностической аппаратуры и современных медикаментозных препаратов. Несмотря на то что реконструктивная хирургия и биоинженерия продолжают развиваться, адекватной замены нативных створок аортального клапана и корня аорты еще не создано.

Список литературы / References

1. Kwasny L., Bianco R., Toledo-Pereyra L. History of Heart Valve Repair. In: Iazzo P., Bianco R., Hill A., St. Louis J., editors. *Heart Valves*. Springer, Boston; 2013. p. 85-120. http://doi.org/10.1007/978-1-4614-6144-9_5
2. Tuffier T.E. Actuel de la Chirurgie Intrathoracique. In: *Surgery*. London: Congress Med; 1913. p. 247-327.
3. Benjamin R.B., Lewis F.J., Niazi S.A., Shumway N.E. Aortic valvulotomy under direct vision during hypothermia. *J Thorac Surg*. 1956;32:481-99.
4. Swan H., Kortz A. Direct vision trans-aortic approach to the aortic valve during hypothermia. Experimental observations and report of successful clinical case. *Ann Surg*. 1956;144(2):205-214. PMID: PMC1465315; PMID: 13355192. <http://doi.org/10.1097/00000658-195608000-00010>
5. Spencer F.C., Neil C.A., Bahnson H.T. The treatment of congenital aortic stenosis with valvulotomy during cardiopulmonary bypass. *Surgery*. 1958;44(1):109-24.
6. Lillehei C.W., Gott V.L., Dewall R.A., Varco R.L. The surgical treatment of stenotic or regurgitant lesions of the mitral and aortic valves by direct vision utilizing a pump-oxygenator. *J Thorac Surg*. 1958;35(2):154-91. PMID: 13514814.
7. Chiariello L., Vlad P., Subramanian S. Surgical treatment of congenital valvular aortic stenosis. *Thorax*. 1976;31(4):398-404. PMID: PMC470448; PMID: 968796. <http://doi.org/10.1136/thx.31.4.398>
8. DeBoer D., Robbins R., Maron B., McIntosh C., Clark R. Late results of aortic valvotomy for congenital valvar aortic stenosis. *Ann Thorac Surg*. 1990;50(1):69-73. PMID: 2369231. [http://doi.org/10.1016/0003-4975\(90\)90090-s](http://doi.org/10.1016/0003-4975(90)90090-s)
9. Komiya T. Aortic valve repair update. *Gen Thorac Cardiovasc Surg*. 2015;63(6):309-19. PMID: 25652725. <http://doi.org/10.1007/s11748-015-0523-1>
10. Gnyaneshwar R., Kumar R., Balakrishnan K. Dynamic analysis of the aortic valve using a finite element model. *Ann Thorac Surg*. 2002;73(4):1122-9. PMID: 11996252. [http://doi.org/10.1016/s0003-4975\(01\)03588-3](http://doi.org/10.1016/s0003-4975(01)03588-3)
11. Carpentier A. Cardiac valve surgery: the French correction. *J Thorac Cardiovasc Surg*. 1983;86(3):323-37. PMID: 6887954
12. Duran C., Kumar N., Gometza B., Halees Z. Indications and limitations of aortic valve reconstruction. *Ann Thorac*

- Surg.* 1991;52(3):447-454. PMID: 1898131. [http://doi.org/10.1016/0003-4975\(91\)90904-5](http://doi.org/10.1016/0003-4975(91)90904-5)
13. Fattouch K., Sampognaro R., Bianco G., Navarra E., Moscarelli M., Speziale G., Ruvo G. Implantation of Gore-Tex chordae on aortic valve leaflet to treat prolapse using "the chordae technique": surgical aspects and clinical results. *Ann Thorac Surg.* 2008;85(6):2019-24. PMID: 18498812. <http://doi.org/10.1016/j.athoracsur.2007.11.083>
 14. Schäfers H., Bierbach B., Aicher D. A new approach to the assessment of aortic cusp geometry. *J Thorac Cardiovasc Surg.* 2006;132(2):436-438. PMID: 16872982. <http://doi.org/10.1016/j.jtcvs.2006.04.032>
 15. Chaikof E. The development of prosthetic heart valves — lessons in form and function. *New England Journal of Medicine.* 2007;357(14):1368-71. PMID: 17914037. <http://doi.org/10.1056/nejmp078175>
 16. Hufnagel C.A., Harvey W.P. The surgical correction of aortic regurgitation preliminary report. *Bull Georgetown Univ Med Cent.* 1953;6(3):60-1. PMID: 12997885.
 17. Cervantes J. Fiftieth anniversary of the first aortic valve prosthesis implantation. *Langenbecks Arch Surg.* 2003;388(5):366-367. <http://doi.org/10.1007/s00423-003-0385-3>
 18. Hessel E. History of cardiopulmonary bypass (CPB). *Best Practice & Research Clinical Anaesthesiology.* 2015;29(2):99-111. PMID: 26060023. <http://doi.org/10.1016/j.bpa.2015.04.006>
 19. Harken D.E., Soroff H.S., Taylor W.J., Lefemine A.A., Gupta S.K., Lunzer S. Partial and complete prostheses in aortic insufficiency. *J Thorac Cardiovasc Surg.* 1960;(40):744-62. PMID: 13711583
 20. Cohn L. History of Cardiac Surgery at the Peter Bent Brigham and Brigham and Women's Hospital, Boston, Massachusetts. *Semin Thorac Cardiovasc Surg.* 2015;27(4):398-402. PMID: 26811047. <http://doi.org/10.1053/j.semtcvs.2015.10.013>
 21. Zilla P., Brink J., Human P., Bezuidenhout D. Prosthetic heart valves: Catering for the few. *Biomaterials.* 2008;29(4):385-406. PMID: 17950840. <http://doi.org/10.1016/j.biomaterials.2007.09.033>
 22. Соловьёв Г.М., Шумаков В.И. Протезирование клапанов сердца. Труды XXVIII съезда хирургов. М. 1967. 632 с. [Solovev G.M., Shumakov V.I. Protezirovanie klapanov serdtsa. *Trudy XXVIII sezda khirurgov.* Moscow; 1967. 632 p. (In Russ.)]
 23. Robicsek F. The application of biological tissues in cardiac valve surgery. The history of the first two decade. *J Heart Valve Dis.* 1994;3(6):613-26. PMID: 8000604.
 24. Binet J., Drauan C., Carpentier A., Langlois J. Heterologous aortic valve transplantation. *Transplantation.* 1966;4(4):516. <http://doi.org/10.1097/00007890-196607000-00029>
 25. Huang G., Rahimtoola S. Prosthetic heart valve. *Circulation.* 2011;123(22):2602-5. <http://doi.org/10.1161/circulationaha.110.979518>
 26. Binet J. Pioneering in heterografts. *Ann Thorac Surg.* 1989;48(3):571-572. PMID: 2673109. [http://doi.org/10.1016/0003-4975\(89\)90645-0](http://doi.org/10.1016/0003-4975(89)90645-0)
 27. Wenn P., Zeltser R. Aortic valve disease. Statpearls.com. Accessed September 8, 2019. Available from: <https://www.statpearls.com/sp/pa/17749>
 28. Desai N., Christakis G. Bioprosthetic aortic valve replacement: stented pericardial and porcine valve; cardiac surgery. In: *The Adult.* L.H. Cohn Editor, 3rd ed. NewYork: McGraw-Hill Companies, Inc; 2008. p. 857-94.
 29. Stelzer P. Bioprosthetic aortic valve replacement: stented pericardial and porcine valve; cardiac surgery. In: *The Adult.* L.H. Cohn Editor, 3rd ed. NewYork: McGraw-Hill Companies, Inc; 2008. p. 915-33.
 30. Кудрявцева Ю.А. Биологические протезы клапана сердца. От идеи до клинического применения. *Комплексные проблемы сердечно-сосудистых систем.* 2015;(4):6-16. [Kudryavtseva Yu.A. Bioprosthetic heart valves. From idea to clinical use. Kuzbass Cardiology Centre is 25 years old. *Complex Issues of Cardiovascular Diseases.* 2015;(4):6-16. (In Russ.)]
 31. Magovern G., Cromie H. Sutureless prosthetic heart valves. *J Thorac Cardiovasc Surg.* 1963;46(6):726-736. PMID: 14099081. [http://doi.org/10.1016/s0022-5223\(19\)33614-1](http://doi.org/10.1016/s0022-5223(19)33614-1)
 32. Forcillo J., Bouchard D., Nguyen A., Perrault L., Cartier R., Pellerin M., Demers P., Stevens L.M., Carrier M. Perioperative outcomes with sutureless versus stented biological aortic valves in elderly persons. *J Thorac Cardiovasc Surg.* 2016;151(6):1629-36. PMID: 26896213. <http://doi.org/10.1016/j.jtcvs.2015.12.056>
 33. Laborde F., Fischlein T., Hakim-Meibodi K., Misfeld M., Carrel T., Zembala M., Madonna F., Meuris B., Haverich A., Shrestha M., Cavalier Trial Investigators. 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 Cardiothorac Surg.* 2016;49(3):978-86. PMID: 26245628. <http://doi.org/10.1093/ejcts/ezv257>
 34. Murray G., Roschlau W., Loughheed W. Homologous aortic-valve-segment transplants as surgical treatment for aortic and mitral insufficiency. *Angiology.* 1956;7(5):466-71. PMID: 13362998. <http://doi.org/10.1177/000331975600700509>
 35. Duran C., Gunning A. A method for placing a total homologous aortic valve in the subcoronary position. *Lancet.* 1962;280(7254):488-9. PMID: 13888604. [http://doi.org/10.1016/s0140-6736\(62\)90346-x](http://doi.org/10.1016/s0140-6736(62)90346-x)
 36. Ross D. Homograft replacement of the aortic valve. *Transplantation.* 1968;6(4):627-631. <http://doi.org/10.1097/00007890-196807000-00036>
 37. Binet J., Drauan C., Carpentier A., Langlois J. Heterologous aortic valve transplantation. *Transplantation.* 1966;4(4):516. <http://doi.org/10.1097/00007890-196607000-00029>
 38. Barratt-Boyes B. Homograft aortic valve replacement in aortic incompetence and stenosis. *Thorax.* 1964;19(2):131-50. PMID: 14128570; PMCID: PMC1018811. <http://doi.org/10.1136/thx.19.2.131>
 39. Ross D. The Ross operation. *J Card Surg.* 2002;17(3):188-93. <http://doi.org/10.1111/j.1540-8191.2002.tb01198.x>
 40. Ibrahim M., Spelde A., Carter T., Patel P., Desai N. The Ross operation in the adult: what, why, and when? *J Cardiothorac Vasc Anesth.* 2018;32(4):1885-91. <http://doi.org/10.1053/j.jvca.2017.12.047>
 41. К 20-летию операции Росса в России (1998–2018). *Патология кровообращения и кардиохирургия.* 2018;22(2):9-10. Режим доступа: <http://journalmeshalkin.ru/index.php/heartjournal/article/view/624/509> [To 20th anniversary of

- Ross Procedure in Russia. *Patologiya krovoobrashcheniya i kardiokhirurgiya = Circulation Pathology and Cardiac Surgery*. 2018;22(2):9-10. (In Russ.) Available from: <http://journalmeshalkin.ru/index.php/heartjournal/article/view/624/509>
42. Bahnson H., Spencer F., Busse E., Davis F. Cusp replacement and coronary artery perfusion in open operations on the aortic valve. *Ann Surg*. 1960;152(3):494-505. PMID: 17859630; PMCID: PMC1613685. <http://doi.org/10.1097/00000658-196015230-00012>
 43. Bjork V.O., Hultquist G. Teflon and pericardial aortic valve prostheses. *J Thorac Cardiovasc Surg*. 1964(47):693-701. PMID: 14174962.
 44. Love J.W., Calvin J.H., Phelan R.F., Love C.S. Rapid intraoperative fabrication of an autologous tissue heart valve: a new technique. In: Bodnar E., Yacoub M. *Proceeding of the third international symposium on cardiac bioprotheses*. New York: York Medical Books; 1986. pp. 691-8.
 45. Ozaki S., Kawase I., Yamashita H., Uchida S., Nozawa Y., Takatoh M., Hagiwara S. A total of 404 cases of aortic valve reconstruction with glutaraldehyde-treated autologous pericardium. *J Thorac Cardiovasc Surg*. 2014;147(1):301-6. PMID: 23228404. <http://doi.org/10.1016/j.jtcvs.2012.11.012>
 46. Halees Z., Shahid M., Sanei A., Sallehuddin A., Duran C. Up to 16 years follow-up of aortic valve reconstruction with pericardium: a stentless readily available cheap valve? *Eur J Cardiothorac Surg*. 2005;28(2):200-5. PMID: 16039963. <http://doi.org/10.1016/j.ejcts.2005.04.041>
 47. Chan K., Rahman-Haley S., Mittal T., Gavino J., Dreyfus G. Truly stentless autologous pericardial aortic valve replacement: An alternative to standard aortic valve replacement. *J Thorac Cardiovasc Surg*. 2011;141(1):276-83. PMID: 20965520. <http://doi.org/10.1016/j.jtcvs.2010.09.038>
 48. Banbury M., Cosgrove D., Lytle B., Smedira N., Sabik J., Saunders C. Long-term results of the Carpentier-Edwards pericardial aortic valve: a 12-year follow-up. *Ann Thorac Surg*. 1998;66(6):S73-6. PMID: 9930421. [http://doi.org/10.1016/s0003-4975\(98\)00986-2](http://doi.org/10.1016/s0003-4975(98)00986-2)
 49. Россейкин Е.В., Базылев В.В., Батраков П.А., Карнахин В.А., Расторгуев А.А. Непосредственные результаты протезирования створок аортального клапана аутоперикардом по методике Ozaki. *Патология кровообращения и кардиохирургия*. 2016;20(3):26-30. <http://dx.doi.org/10.21688/1681-3472-2016-3-26-30> [Rosseykin E., Bazylev V., Batrakov P., Karnakhin V., Rastorguev A. Immediate results of aortic valve reconstruction by using autologous pericardium (Ozaki procedure). *Patologiya krovoobrashcheniya i kardiokhirurgiya = Circulation Pathology and Cardiac Surgery*. 2016;20(3):26-30. (In Russ.) <http://doi.org/10.21688/1681-3472-2016-3-26-30>]
 50. Базылев В.В., Кобзев Е.Е., Бабуков Р.М., Россейкин Е.В. Операция Ozaki при узком фиброзном кольце аортального клапана – новое решение старой проблемы? *Грудная и сердечно-сосудистая хирургия*. 2018;60(3):217-225. <http://doi.org/10.24022/0236-2791-2018-60-3-217-225> [Bazylev V., Kobzev E., Babukov R., Rosseykin E. Ozaki procedure in the case of a small aortic annulus – is this new solution to the old problem? *Russian Journal of Thoracic and Cardiovascular Surgery*. 2018;60(3):217-225. (In Russ.) <http://doi.org/10.24022/0236-2791-2018-60-3-217-225>]
 51. Fehling-instruments.de. Accessed December 3, 2019. Available from: <https://www.fehling-instruments.de/wp-content/uploads/2018/09/Kapitel-1-1-Herz-und-Gefäßchirurgie.pdf>
 52. Bentall H., De Bono A. A technique for complete replacement of the ascending aorta. *Thorax*. 1968;23(4):338-9. PMCID: PMC471799; PMID: 5664694. <http://doi.org/10.1136/thx.23.4.338>
 53. Di Bartolomeo R., Botta L., Leone A., Pilato E., Martin-Suarez S., Bacchini M., Pacini D. Bio-Valsalva™ prosthesis: 'new' conduit for 'old' patients. *Interact Cardiovasc Thorac Surg*. 2008;7(6):1062-6. <http://doi.org/10.1510/icvts.2008.187849>
 54. Maddalo S., Beller J., De Anda A.A. Bentall is not a Bentall is not a Bentall: the evolution of aortic root surgery. *AORTA*. 2014;2(5):169-178. PMID: 26798737; PMCID: PMC4686356. <http://doi.org/10.12945/j.aorta.2014.14-021>
 55. Cabrol C., Gandjbakhch I., Cham B. Aneurysms of the ascending aorta; total replacement with reimplantation of the coronary arteries. *La Nouvelle presse médicale*. 1978;7(5):363-5. PMID: 345234.
 56. Kouchoukos N.T., Karp R.B. Resection of ascending aortic aneurysm and replacement of aortic valve. *J Thorac Cardiovasc Surg*. 1981;81(1):142-3. PMID: 7453218.
 57. Комаров Р.Н., Каравайкин П.А., Мурылев В.В. История реконструктивной хирургии аорты и аортального клапана. *Патология кровообращения и кардиохирургия*. 2017;21(3S):45-60. <http://dx.doi.org/10.21688/1681-3472-2017-3S-45-60> [Komarov R., Karavaykin P., Murylev V. History of reconstructive surgery of aorta and aortic valve. *Patologiya krovoobrashcheniya i kardiokhirurgiya = Circulation Pathology and Cardiac Surgery*. 2017;21(3S):45-60. (In Russ.) <http://doi.org/10.21688/1681-3472-2017-3s-45-60>]
 58. David T., Ivanov J., Armstrong S., Feindel C., Webb G. Aortic valve-sparing operations in patients with aneurysms of the aortic root or ascending aorta. *Ann Thorac Surg*. 2002;74(5):S1758-S1761. PMID: 12440659. [http://doi.org/10.1016/s0003-4975\(02\)04135-8](http://doi.org/10.1016/s0003-4975(02)04135-8)
 59. Yacoub M. Valve-conserving operation for aortic root aneurysm or dissection. *Operative Techniques in Cardiac and Thoracic Surgery*. 1996;1(1):57-67. [http://doi.org/10.1016/s1085-5637\(07\)70081-5](http://doi.org/10.1016/s1085-5637(07)70081-5)
 60. Sarsam M.A., Yacoub M. Remodeling of the aortic valve annulus. *J Thorac Cardiovasc Surg*. 1993;105(3):435-8. PMID: 8445922.
 61. David T. Aortic valve sparing operations: a review. *Korean J Thorac Cardiovasc Surg*. 2012;45(4):205-12. <http://doi.org/10.5090/kjtcvs.2012.45.4.205>
 62. Hess P., Klodell C., Beaver T., Martin T. The Florida Sleeve: a new technique for aortic root remodeling with preservation of the aortic valve and sinuses. *Ann Thorac Surg*. 2005;80(2):748-50. PMID: 16039256. <http://doi.org/10.1016/j.athoracsur.2004.02.092>
 63. Чернявский А.М., Хван Д.С., Альсов С.А., Сирота Д.А., Ляшенко М.М. Реимплантация корня аорты в протез: новый виток клапаносохраняющих операций. *Патология кровообращения и кардиохирургия*. 2016;20(2):49-57. <http://dx.doi.org/10.21688/1681-3472-2016-2-49-57> [Chernyavskiy A.M., Khvan D.S., Alsov S.A., Sirota D.A., Lyashenko M.M. Aortic root reimplantation procedure: a new milestone in aortic valve-sparing operations. *Patologiya krovoobrashcheniya i kardiokhirurgiya =*

- Circulation Pathology and Cardiac Surgery*. 2016;20(2):49-57. (In Russ.) <http://doi.org/10.21688/1681-3472-2016-2-49-57>
64. Price J., Magruder J., Young A., Grimm J.C., Patel N.D., Alejo D., Dietz H.C., Vricella L.A., Cameron D.E. Long-term outcomes of aortic root operations for Marfan syndrome: A comparison of Bentall versus aortic valve-sparing procedures. *J Thorac Cardiovasc Surg*. 2016;151(2):330-6. PMID: 26704057. <http://doi.org/10.1016/j.jtcvs.2015.10.068>
 65. Taylor W., Thrower W., Black H., Harken D. The surgical correction of aortic insufficiency by circumclusion. *J Thorne Surg*. 1958;35(2):192-205. PMID: 13514815.
 66. Duran C., Gallo R., Prabhakar G., Kumar N., Hainau H. New prosthetic ring for aortic valve annuloplasty. *Cardiovasc Surg*. 1993;1(2):166-71. PMID: 8076021.
 67. Haydar H.S., He G.W., Hovaguimian H., McIrvn D.M., King D.H., Starr A. Valve repair for aortic insufficiency: surgical classification and techniques. *Eur J Cardiothorac Surg*. 1997;11(2):258-265. PMID: 9080152. [http://doi.org/10.1016/s1010-7940\(96\)01014-7](http://doi.org/10.1016/s1010-7940(96)01014-7)
 68. Reimold S., Aranki S., Caguioa E., Solomon S.D., Birjiniuk V., Cohn L.H., Lee R.T. An external aortic root device for decreasing aortic regurgitation: in vitro and in vivo animal studies. *J Card Surg*. 1994;9(3):304-13. PMID: 8054725. <http://doi.org/10.1111/j.1540-8191.1994.tb00849.x>
 69. David T., Feindel C., Webb G., Colman J.M., Armstrong S., Maganti M. Long term results of aortic valve sparing operations for aortic root aneurysm. *J Thorac Cardiovasc Surg*. 2006;132(2):347-354. PMID: 16872961. <http://doi.org/10.1016/j.jtcvs.2006.03.053>
 70. Aicher D., Kuniyara T., Abou Issa O., Brittner B., Gräber S., Schäfers H. Valve configuration determines long-term results after repair of the bicuspid aortic valve. *Circulation*. 2011;123(2):178-85. PMID: 21200006. <http://doi.org/10.1161/circulationaha.109.934679>
 71. Gilard M., Eltchaninoff H., Lung B., Donzeau-Gouge P., Chevreul K., Fajadet J., Leprince P., Leguerrier A., Lieve M., Prat A., Teiger E., Lefevre T., Himbert D., Tchetche D., Carrié D., Albat B., Cribier A., Rioufol G., Sudre A., Blanchard D., Collet F., Dos Santos P., Meneveau N., Tirouvanziam A., Caussin C., Guyon P., Boschat J., Le Breton H., Collart F., Houel R., Delpine S., Souteyrand G., Favereau X., Ohlmann P., Doisy V., Grollier G., Gommeaux A., Claudel J.P., Bourlon F., Bertrand B., Van Belle E., Laskar M.; FRANCE 2 Investigators. Registry of transcatheter aortic-valve implantation in high-risk patients. *J Vasc Surg*. 2012;56(4):1180-1. PMID: 22551129. <http://doi.org/10.1016/j.jvs.2012.08.054>
 72. Sundt T., Bailey M., Moon M., Mendeloff E.N., Huddleston C.B., Pasque M.K., Barner H.B., Gay W.A. Jr. Quality of life after aortic valve replacement at the age of >80 years. PMID: 11082365. *Circulation*. 2000;102(Supplement 3):III-70-III-74. PMID: 11082365. http://doi.org/10.1161/01.cir.102.suppl_3.iii-70
 73. Cribier A., Saoudi N., Berland J., Savin T., Rocha P., Letac B. Percutaneous transluminal valvuloplasty of acquired aortic stenosis in elderly patients: an alternative to valve replacement? *Lancet*. 1986;327(8472):63-7. PMID: 2867315. [http://doi.org/10.1016/s0140-6736\(86\)90716-6](http://doi.org/10.1016/s0140-6736(86)90716-6)
 74. Силин В.А., Сухов В.К., Александров К.Ю., Есипович И.Д., Сухова И.В. Опыт катетерной баллонной дилатации сердечных клапанов и аорты у 1024 больных. *Вестник рентгенологии и радиологии*. 1996;(5):10-12. [Silin V.A., Sukhov V.K., Aleksandrov K.Yu., Esipovich I.D., Sukhova I.V. Experience with catheter balloon dilation of the cardiac valves and aorta in 1042 patients. *Vestnik rentgenologii i radiologii = Journal of radiology and nuclear medicine*. 1996;(5):10-12. (In Russ.)]
 75. Силин В.А., Сухов В.К., Волинский Ю.Д., Алесян Б.Г. Осложнения катетерной баллонной вальвулопластики (анализ причин, способы профилактики и лечения). *Грудная и сердечно-сосудистая хирургия*. 1991;(12):18-23. [Silin V.A., Sukhov V.K., Volynskii Yu.D., Alekyan B.G. Oslozhneniya kateternoi ballonnoi val'vuloplastiki (analiz prichin, sposoby profilaktiki i lecheniya). *Russian Journal of Thoracic and Cardiovascular Surgery*. 1991;(12):18-23. (In Russ.)]
 76. Reardon M.J., Van Mieghem N.M., Popma J.J., Kleiman N.S., Søndergaard L., Mumtaz M., Adams D.H., Deeb G.M., Maini B., Gada H., Chetcuti S., Gleason T., Heiser J., Lange R., Merhi W., Oh J.K., Olsen P.S., Piazza N., Williams M., Windecker S., Yakubov S.J., Grube E., Makkar R., Lee J.S., Conte J., Vang E., Nguyen H., Chang Y., Mugglin A.S., Serruys P.W., Kappetein A.P.; SURTAVI Investigators. Surgical or transcatheter aortic-valve replacement in intermediate-risk patients. *N Engl J Med*. 2017;376(14):1321-31. PMID: 28304219. <http://doi.org/10.1056/nejmoa1700456>
 77. Grigorios T., Stefanos D., Athanasios M., Ioanna K., Stylianos A., Periklis D., George H. Transcatheter versus surgical aortic valve replacement in severe, symptomatic aortic stenosis. *J Geriatr Cardiol*. 2019;15(1):76-85. PMID: 29434629; PMCID: PMC5803541. <http://doi.org/10.11909/j.issn.1671-5411.2018.01.002>
 78. Andersen H., Knudsen L., Hasenkam J. Transluminal implantation of artificial heart valves. Description of a new expandable aortic valve and initial results with implantation by catheter technique in closed chest pigs. *Eur Heart J*. 1992;13(5):704-8. PMID: 1618213. <http://doi.org/10.1093/oxfordjournals.eurheartj.a060238>
 79. Cribier A., Eltchaninoff H., Bash A., Borenstein N., Tron C., Bauer F., Derumeaux G., Anselme F., Laborde F., Leon M.B. Percutaneous transcatheter implantation of an aortic valve prosthesis for calcific aortic stenosis. *Circulation*. 2002;106(24):3006-8. PMID: 12473543. <http://doi.org/10.1161/01.cir.0000047200.36165.b8>
 80. Беляев С.А., Леонтьев С.А., Мор Ф.-В. Транскатетерная имплантация аортального клапана. *Креативная кардиология*. 2015;(4):25-33. <http://doi.org/10.15275/kreatkard.2015.04.03> [Beljaev S.A., Leont'ev S.A., Mor F.-V. Transcatheter aortic valve implantation. *Kreativnaya Kardiologiya*. 2015;(4):25-33. (In Russ.) <http://doi.org/10.15275/kreatkard.2015.04.03>]
 81. Mack M., Holmes D., Webb J., Cribier A., Kodali S.K., Williams M.R., Leon M.B. Patient selection for transcatheter aortic valve replacement. *J Am Coll Cardiol*. 2013;62(17):S1-10. PMID: 24135658. <http://doi.org/10.1016/j.jacc.2013.08.707>
 82. Бокерия Л.А., Алесян Б.Г., Пурсанов М.Г., Мирошенко В.А., Бокерия О.Л., Макаренко В.Н., Захарченко А.В., Косенко А.И., Базарсадаева Т.С., Сандодзе Т.С., Алехина М.А. Транскатетерная имплантация аортального клапана: первый опыт в России. *Грудная и сердечно-сосудистая хирургия*. 2011;(2):4-11. [Bockeria L.A., Alekyan B.G., Pursanov M.G., Mironenko V.A., Bockeria O.L., Makarenko V.N., Zakharchenko A.V., Kosenko A.I., Bazarsadayeva T.S., Sandodze T.S., Alekhina M.A. Transcatheter aortic valve implantation: the first experience in Russia.

- Russian Journal of Thoracic and Cardiovascular Surgery*. 2011;(2):4-11. (In Russ.)]
83. Karl T.R., Martin G.R., Jacobs J.P., Wernovsky G. Key events in the history of cardiac surgery and paediatric cardiology. *Cardiol Young*. 2017;27(10):2029-62. PMID: 29286279. <http://doi.org/10.1017/s1047951117002256>
 84. Iazzo P. *Handbook of cardiac anatomy, physiology, and devices*. 2nd ed. Springer; 2009. 529 p.
 85. Zalaquett S R. Cincuentenario de la máquina corazón-pulmón: Un relato acerca de los pioneros y héroes y de las circunstancias que llevaron al gran invento que permitió el tratamiento y la cura de las enfermedades del corazón. *Revista médica de Chile*. 2003;131(11):1337-44. <http://doi.org/10.4067/s0034-98872003001100017>
 86. AVNeo Instruments|Innovative Procedure for Aortic Valve Diseases - Aortic Valve Neo-cuspidization.net. Avneo.net. Accessed December 1, 2019. Available from: <https://avneo.net/en/ozaki-vrecs>
 87. Thiene G. Hugh Henry Bentall, a pioneer of cardiovascular surgery. *Interact Cardiovasc Thorac Surg*. 2013;18(4):530-1. PMID: 24368549; PMCID: PMC3957282. <http://doi.org/10.1093/icvts/ivt523>
 88. Transcatheter aortic valve implantation (TAVI) | Heart & Vascular (Cardiovascular) |Mount Elizabeth Hospitals Singapore. Mountelizabeth.com.sg. Accessed December 1, 2019. Available from: <https://www.mountelizabeth.com.sg/specialties/advanced-procedures/tavi>

Aortic root and aortic valve surgery: History and modernity

Roman N. Komarov¹, Andrey I. Katkov¹, Dmitry P. Puzenko¹, Saniia N. Odinkova¹, Vladimir N. Nikolenko^{1,2}

¹I.M. Sechenov First Moscow State Medical University (Sechenov University), Moscow, Russian Federation

²Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russian Federation

Corresponding author. Saniia N. Odinkova, saniya_odinkova@mail.ru

Heart valve surgery, including aortic valve surgery, began to develop in the first half of the 20th century with the advancement of reconstructive procedures. Thereafter, the progress of science and technology led to the development of mechanical and biological prostheses, homografts and plastic materials, which continue to improve and transform. This review focuses on the historical aspects of the development of aortic root and aortic valve surgery, mentions the initial interventions and presents the contributions of Soviet and Russian surgeons to global surgery. The article will be interesting to cardiovascular surgery specialists as well as a wide range of readers who intend to learn more regarding the history of medicine and cardiovascular surgery.

Key words: aortic root; aortic valve; history of surgery

Received 8 November 2019. Revised 10 December 2019. Accepted 12 December 2019.

Funding: The study did not have sponsorship.

Conflict of interest: Authors declare no conflict of interest.

Copyright: © 2019 Komarov et al. This is an open access article distributed under the terms of the [Creative Commons Attribution 4.0 License](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

How to cite: Komarov R.N., Katkov A.I., Puzenko D.P., Odinkova S.N., Nikolenko V.N. Aortic root and aortic valve surgery: History and modernity. *Patologiya krovoobrashcheniya i kardiokirurgiya = Circulation Pathology and Cardiac Surgery*. 2019;23(4):9-25. <http://dx.doi.org/10.21688/1681-3472-2019-4-9-25> (In Russ.)