

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ ПЕРВЫЙ МОСКОВСКИЙ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ МЕДИЦИНСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ И.М.
СЕЧЕНОВА МИНИСТЕРСТВА ЗДРАВООХРАНЕНИЯ РОССИЙСКОЙ
ФЕДЕРАЦИИ (СЕЧЕНОВСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ)

На правах рукописи

ОДИНОКОВА

Сания Наилевна

**АНАТОМИЯ КОРНЯ АОРТЫ В АСПЕКТЕ
РЕКОНСТРУКТИВНОЙ ХИРУРГИИ АОРТАЛЬНОГО КЛАПАНА**

14.01.26 Сердечно-сосудистая хирургия

14.03.01 Анатомия человека

Диссертация

на соискание ученой степени

кандидата медицинских наук

Научные руководители: доктор медицинских наук

КОМАРОВ Роман Николаевич;

доктор медицинских наук,

профессор **НИКОЛЕНКО Владимир Николаевич**

Москва - 2021

Оглавление

Список сокращений и условных обозначений.....	4
Введение.....	5
ГЛАВА 1. Обзор литературы.....	15
1.1 Анатомо-функциональные особенности корня аорты.....	15
1.1.1 Строение корня аорты.....	15
1.1.2 Расположение корня аорты относительно других структур сердца.....	21
1.1.3 Функционирование корня аорты.....	22
1.2 Развитие и патология клапана аорты	23
1.3 Методы хирургической коррекции аортальных пороков.....	28
1.3.1 Развитие пластических и реконструктивных вмешательств на клапане аорты.....	28
1.3.2 Становление протез-заместительных технологий в хирургии аортального порока.....	30
1.3.3 Применение гомографтов и аутографтов.....	34
1.3.4 Технологии некуспидизации аортального клапана: история и современность.....	36
1.4 Резюме к главе 1.....	39
ГЛАВА 2. Материал и методы исследования.....	41
2.1 Материал и методы анатомической части исследования.....	41
2.2 Характеристика клинической части исследования.....	45
2.3 Методы обследования пациентов.....	52
2.4 Статистический анализ	58
ГЛАВА 3. Анатомическое обоснование расчетов по реконструкции клапана аорты.....	60
3.1 Результаты морфометрического исследования корня аорты.....	60

3.2 Результаты корреляционно-регрессионного анализа размерных характеристик для каждой из створок клапана аорты.....	63
3.3 Результаты корреляционно-регрессионного анализа размерных характеристик клапана аорты в целом.....	66
3.4 Характеристика линии, соответствующей длине прикрепления створки.....	71
3.5 Способ изготовления шаблона (лекала) для некуспидизации.....	74
 ГЛАВА 4. Техника выполнения и результаты использования предложенного способа и рекомендаций по реконструкции клапана аорты.....	76
4.1 Характеристика хирургического вмешательства.....	76
4.2 Результаты хирургической коррекции аортального порока.....	82
4.3 Ограничения исследования.....	84
 ГЛАВА 5. Обсуждение результатов собственного исследования.....	85
5.1 Сопоставление данных морфометрии створок клапана аорты.....	85
5.2 Ограничения анатомической части исследования.....	92
5.3 Сравнение полученных результатов реконструкции клапана аорты с имеющимися в литературе.....	93
 Заключение.....	99
 Выводы.....	104
 Практические рекомендации.....	105
 Список литературы.....	107

СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ И УСЛОВНЫХ ОБОЗНАЧЕНИЙ

ВА – вентрикуло-аортальное соединение

ИБС – ишемическая болезнь сердца

КДО – конечно-диастолический объем

КДР – конечно-диастолический размер

КСО – конечно-систолический объем

КСР – конечно-систолический размер

ЛКС – левая коронарная створка

МЖП – межжелудочковая перегородка

НКС – некоронарная створка

ОНМК – острое нарушение мозгового кровообращения

ПКС – правая коронарная створка

РЧА – радиочастотная абляция

СВ – синусы Вальсальвы

СДЛА - систолическое давление в легочной артерии

СТС – синотубулярное соединение

ТЗСЛЖ – толщина задней стенки левого желудочка

ТМЖП – толщина межжелудочковой перегородки

ТЭЛА – тромбоэмболия легочной артерии

УО – ударный объем

ФВ – фракция выброса

ФП – фибрилляция предсердий

ХОБЛ – хроническая обструктивная болезнь легких

ЧП ЭхоКГ – чреспищеводная эхокардиография

ЭКГ – электрокардиография

ЭхоКГ – эхокардиография

A - leaflet height (высота створки)

IC - inter-commissural distance (межкомиссуральное расстояние)

L1 - length of the free margin of a leaflet (длина свободного края створки)

L2 - cusp attachment length (длина прикрепления створки к фиброзному кольцу)

ВВЕДЕНИЕ

Болезни сердечно-сосудистой системы занимают лидирующее положение в структуре заболеваемости и смертности во всем мире. По распространенности среди населения кальцинированный аортальный стеноз занимает 3 место после гипертонии и ишемической болезни сердца (Lung B., 2003; Карпова Н.Ю., 2020). Исследования, проведенные за рубежом, показывают, у 3% - 4% взрослого населения диагностирована умеренная или тяжелая патология клапана аорты (Nkomo V.T., 2006; Osnabrugge R.L.J., 2013; Thaden J.J., 2014; Benjamin E.J., 2017). В связи с этим лечение врожденных и приобретенных аортальных пороков клапана представляют глобальную проблему здравоохранения.

В промышленно развитых регионах мира среди пожилых людей, заболевания клапана аорты являются преимущественно результатом дегенеративно-дистрофических изменений. У почти 25% людей старше 65 лет выявляется склероз аортального клапана, а 3% старше 75 лет — критический стеноз (Carapetis J.R., 2007; Roberts W.C., 2007). В связи с ожидаемым увеличением численности населения в старших возрастных группах, частота патологических изменений клапанов будет возрастать, поэтому проблема хирургического лечения приобретает все большую актуальность (Ruel M., 2006). По различным оценкам аортальный стеноз является наиболее распространенным сердечным пороком в Европе и Америке, и к 2020 году только в Англии около 3,5 миллионов человек будет подвержены данной патологии (Freeman R.V., 2005).

Самой частой причиной заболевания клапана аорты у лиц до 65 лет является его двухстворчатая конфигурация. Она встречается у 0,5-0,8% людей в популяции с преобладанием у мужчин (Chambers J. B., 2016) и часто коррелирует с такими аномалиями аорты как расширение (корень, восходящая и дуга) и коарктация (Lung B., 2003; Schneider U., 2017). Из-за нарушения гемодинамических условий створки двустворчатого клапана подвергаются ускоренной кальцификации и дегенерации (Rajput F., 2020). Впоследствии это приводит к аортальному стенозу и/или недостаточности, что увеличивает риск развития инфекционного

эндокардита, который, по данным Jung и соавторов, встречается в 12 - 39% у этой категории пациентов (Jung B., 2003). Интраоперационно при аортальном стенозе 70% всех иссеченных клапанов составляют двустворчатые (Chambers J. B., 2016).

В развивающихся странах ревматизм остается наиболее распространенной причиной аортальных пороков. В Европе, наоборот, частота хронических ревматических заболеваний снизилась после 1950-х годов. Доля аортальной недостаточности ревматического происхождения уменьшилась с 62% в 1932-1967 г. (Barondess J.A., 1969) до 29% в 1970-1974 г. и 20% в 1985-1989 г. (Carlson R.G., 1991). По данным современного исследования Euro Heart Survey on VHD (Jung B., 2003), проведенного в 25 странах мира, доля ревматического поражения при аортальной регургитации составляет 15,2%.

Распространенность недостаточности клапана аорты различной этиологии по данным проспективного исследования Framingham Heart Study составляет 13,0% у мужчин и 8,5% у женщин (Singh J.P., 1999; Okafor I., 2016). Наличие аортальной регургитации также зависит от диаметра корня и восходящей аорты, что свидетельствует о том, что она может быть функциональной или являться результатом сочетания первичного заболевания створок клапана и расширения аорты (Lebowitz N.E., 2000). Наиболее частыми причинами дилатации аорты являются атеросклероз и медиальный некроз. Barondess и Sande обнаружили аортальную регургитацию из-за сифилитической дилатации аорты в 11% из 258 аутопсий, проведенных с 1932 по 1967 г. (Barondess J.A., 1969). Однако влияние сифилиса на развитие недостаточности клапана аорты снизилось с 1955 года. Острая аортальная регургитация наиболее часто возникает в результате эндокардита, расслоения или травмы грудной клетки (Bonow R.O., 2006; Shibayama K., 2012).

Наиболее часто течение пороков клапана аорты, в частности стеноза, отличается относительно долгим бессимптомным периодом, во время которого отверстие аортального клапана уменьшается в размерах за счет кальцификации и фиброзных изменений. J. Ross и E. Braunwald еще в середине 20 века обнаружили тот факт, что при бессимптомном аортальном стенозе порок практически не

влияет на среднюю продолжительность жизни и риск внезапной сердечной смерти невысокий и составляет около 3–5 %. Однако при появлении симптомов, прогноз резко ухудшается, а частота внезапной сердечной смерти возрастает и составляет от 8 до 34 % (Ross J.J., 1969).

Прогрессирование порока проявляется клиническими симптомами - обморок, стенокардия и сердечная недостаточность (Iung B., 2005). Каждый второй человек с тяжелым аортальным стенозом умирает в течение 2-х лет после начала заболевания (Kvidal P., 2000). Пятилетняя выживаемость больных аортальным стенозом без оперативного вмешательства составляет около 15% (Rosenhek R., 2010).

В соответствии с рекомендациями Американского колледжа кардиологии/Американской ассоциации сердца (ACC/AHA), аортальный стеноз оценивается как тяжелый, когда площадь эффективного отверстия составляет менее 1,0 см, средний градиент более 40 мм рт. ст. или скорость кровотока на клапане более 4 м/с (Nishimura R.A., 2017). Прогноз неблагоприятный для пациентов в симптоматических или тяжелых случаях, если клапан не заменен. У 30% пациентов в возрасте старше 75 лет не проводится хирургическая замена клапана по различным причинам. Они могут быть как техническими (фарфоровая аорта, тяжелые коморбидные состояния), так и связанными с отказом пациента от оперативного вмешательства. Оперативный риск смерти при хирургической замене аортального клапана достигает 10% у пациентов с дисфункцией левого желудочка, хронической болезнью почек и пожилым возрастом (Rajput F., 2020).

Хирургическая коррекция данной патологии относится к группе наиболее дорогостоящих операций, а число взрослых пациентов прогрессивно возрастает во всех странах мира. По данным разных авторов ежегодно имплантируется от 250 тысяч до 280 тысяч клапанов (Butany J., 2003; Pibarot P., 2009). Число протезирований увеличивается в среднем на 5–7% в год (биологических протезов – на 8–11%, механических – на 3–5%). Только в Америке проводится около 95 тысяч вмешательств на клапанах сердца (Thom T., 2006), из них 50 тысяч протезирований аортального клапана (Freeman R.V., 2005).

При этом по данным С. В. Спиридонова прямые экономические затраты при использовании механических протезов и затраты на амбулаторную терапию в течение года составляют от 272 до 607 долларов США в зависимости от марки протеза (Спиридонов С.В., 2016). Затраты при использовании каркасного биологического протеза «Carpentier-Edwards PERIMOUNT Magna Ease» и амбулаторную терапию в течение года составляют 2587,5 долларов США, а затраты при использовании механического протеза в составе кондуита «Carbomedics carbo-seal valsalva» и кондуита «BioValsalva» с последующей амбулаторной терапией в течение года составляют соответственно 1794 и 2901,5 долларов США. Более дешевым является использование аллографтов - 262,38 долларов США. В этом исследовании не учитывались затраты на использование расходных материалов (кроме стоимости самого клапана), нахождение пациента в отделении реанимации и в кардиохирургическом отделении, стоимость рабочего времени персонала и др. из-за влияния множества факторов на эти показатели. Таким образом, разработка новых методов реконструктивной хирургии в лечении патологии клапана аорты и восходящей аорты является перспективным направлением, как, в первую очередь, с точки зрения улучшения качества жизни пациентов, так и с точки зрения снижения его стоимости.

На протяжении пяти десятилетий «золотым стандартом» в лечении пороков аортального клапана являлось протезирование клапана аорты (Ozaki S., 2015). Однако, снижение качества жизни, связанное с необходимостью приема антикоагулянтов и ассоциированные с этим осложнения, требуют продолжения поиска альтернативных методов лечения данной патологии.

Рандомизированные исследования, в которых сравнивались механические и биологические протезы, подтверждали сходную выживаемость, отсутствие достоверных различий в частоте клапанных тромбозов и тромбоэмболий, более высокий риск кровотечений при использовании механических протезов и более частые повторные вмешательства при использовании биопротезов (Stassano P., 2009; Fishbein G.A., 2019).

На сегодняшний день все большее развитие получают реконструктивные операции, для выполнения которых необходимо детальное знание морфологии структур в норме (Комаров Р.Н., 2019; Одиноква С.Н., 2020). Однако при кальцинозе створок и стенок клапана выполнить реконструкцию клапана не представляется возможным. Решением данной проблемы является использование материалов, из которых можно выкроить створку, оптимальную по морфометрическим параметрам для восстановления нормальной гемодинамики.

Существуют авторские методики, такие как метод реконструкции аортального клапана по Ozaki, Venaki, Mazouzi и др. (Ozaki S., 2014; Иванов В.А., 2016; Комаров Р.Н., 2019). При выполнении данных операций необходимы специальные шаблоны, измерители, устройства, и т. д. Отсутствие на сегодняшний день универсального метода восстановления створок клапана аорты подчеркивает актуальность данного исследования. На основании изучения анатомических характеристик клапана аорты нами предлагается новый подход к решению данной задачи — собственный способ изготовления створок клапана аорты (патент RU 2741253), требующий минимальных экономических затрат, а по эффективности сравнимый с широко распространённой операцией Ozaki.

Проведенное нами исследование направлено на устранение недостатков, связанных с невозможностью некоторым больным выполнить реконструктивную операцию и на улучшение качества лечения пациентов с патологией клапана аорты.

Терминология

Для согласованной интерпретации представленных данных и использования анатомической и клинической терминологии, необходимо сделать несколько уточнений. В данной диссертации для характеристики структуры, соответствующей начальному отделу аорты и расположенной между левым желудочком и восходящей аортой, использован термин «корень аорты». В современной Международной анатомической номенклатуре, утвержденной на XV Международном анатомическом конгрессе в Риме (Италия) в 1999 г и одобренной

в России в качестве официальной на IV Всероссийском съезде анатомов, гистологов и эмбриологов (Ижевск, 1999), данная структура на латинском языке называется *Vulbus aortae* (что соответствует русскому термину – «луковица аорты») (Колесников Л.Л., 2003). Однако, учитывая тот факт, что на международных конгрессах и симпозиумах, конференциях, а так же в клинической литературе и ежедневной клинической практике, кардиохирурги и кардиологи используют термин «корень аорты», в рамках данной диссертационной работы тоже употребляется последний. Схожая ситуация обстоит со структурами клапана аорты. Наиболее часто употребляемый термин «створка аортального клапана» в Международной анатомической номенклатуре указан как *valvula semilunaris valvae aortae* (соответствует русскому термину – «полулунная заслонка клапана аорты»).

Цель исследования

Разработка универсальной математической модели в определении размеров створок клапана аорты для его протезирования из перикарда.

Задачи исследования

1. Произвести морфометрию структур нормального корня аорты и, используя статистические методы, выявить характер корреляций между размерными характеристиками.
2. На основании полученных данных составить математически обоснованные рекомендации по изготовлению неостворок клапана аорты при реконструктивных операциях на клапане аорты в зависимости от размеров фиброзного кольца, синотубулярного соединения.
3. Разработать технику выполнения неокуспидизации клапана аорты по полученным математическим рекомендациям и апробировать на практике.
4. Изучить непосредственные гемодинамические характеристики у больных после неокуспидизации клапана аорты.

Новизна исследования

Получены новые данные о размерных характеристиках корня аорты, и установлены статистически значимые взаимоотношения между различными его структурами. Выявлены достоверные корреляционные связи между межкомиссуральным расстоянием и основными морфометрическими параметрами створок клапана аорты.

Составлены практические рекомендации по выкраиванию створок для различных размеров корня аорты.

Внедрен новый хирургический метод реконструкции клапана аорты из перикарда, который позволяет ликвидировать недостатки обычной замены клапана аорты механическим или биологическим протезом и невозможность выполнить реконструктивную операцию при тотально измененном клапане аорты.

Проведен анализ интраоперационных и послеоперационных результатов работы клапана аорты у пациентов после его восстановления по предложенным формулам из обработанного глутаровым альдегидом аутоперикарда.

Теоретическая, практическая значимость исследования

Проведенное исследование позволяет улучшить качество лечения пациентов с пороками клапана аорты различной этиологии и повысить эффективность выполнения замены клапана аорты клапаном, изготовленным из перикарда. На основании морфометрического обследования аутопсии корня аорты составлены рекомендации по выкраиванию неостворок из перикарда. Данная методика внедрена в хирургическую практику. Определены ее преимущества и показания к проведению в зависимости от результатов дооперационных инструментальных методов обследования с учетом анатомических особенностей интраоперационного состояния корня аорты.

Показано преимущество разработанного на основании морфометрии способа восстановления клапана аорты относительно других существующих на сегодняшний день методик, заключающихся в снижении среднего и пикового

градиентов на клапане аорты, отсутствии послеоперационной регургитации, увеличении площади эффективного отверстия клапана аорты, а так же в отсутствии необходимости применения пожизненной антикоагулянтной терапии. Методика является экономически обоснованной, так как не требует наличия готового клапана (механического или биологического), а так же каких-либо технических приспособлений, кроме ножниц, линейки и хирургического маркера, что значительно снижает затраты на операцию, упрощает и делает более доступным введение представленного метода в практику кардиохирургических отделений.

Основные положения, выносимые на защиту

1. Размерные характеристики корня аорты индивидуально изменчивы и коррелируют между собой с различной силой и положительной направленностью.
2. При патологии клапана аорты, подлежащей хирургической коррекции, возможно выполнить полную замену створок клапана из перикарда.
3. Создаваемый клапан аорты из перикарда должен четко соответствовать анатомическим морфометрическим закономерностям соотношения структур корня аорты.
4. Симметричный трехстворчатый клапан аорты является геометрически правильным и наиболее устойчивым к интенсивным гемодинамическим нагрузкам.
5. Использование оригинального метода изготовления створок клапана аорты требует минимальных экономических затрат, а по эффективности сравним с существующими на сегодняшний день процедурами восстановления клапана.

Реализация результатов исследования

Результаты исследования внедрены в практику кардиохирургического отделения Университетской клинической больницы №1 ФГАОУ ВО Первого

МГМУ им. И. М. Сеченова МЗ РФ (Сеченовский Университет), «Научно-исследовательского института комплексных проблем сердечно-сосудистых заболеваний» г. Кемерово, кардиохирургического отделения «Ростовской областной клинической больницы», «Специализированной кардиохирургической клинической больницы» г. Нижний Новгород и «Федерального центра сердечно-сосудистой хирургии» г. Астрахань.

Материал исследования используется в учебном процессе на кафедре анатомии человека, факультетской хирургии №1 имени Н.Н. Бурденко и госпитальной хирургии ФГАОУ ВО Первого МГМУ им. И. М. Сеченова МЗ РФ (Сеченовский Университет), а так же на кафедре нормальной и топографической анатомии ФФМ МГУ им. М.В. Ломоносова при чтении лекций и проведении практических занятий по теме «Сердечно-сосудистая система».

Апробация работы

Апробация диссертации состоялась 28 августа 2020 года на совместном заседании кафедр госпитальной хирургии, факультетской хирургии №1 имени Н.Н. Бурденко и кафедры анатомии человека Института клинической медицины имени Н.В. Склифосовского ФГАОУ ВО «Первый МГМУ им. И.М. Сеченова (Сеченовский Университет)» Минздрава России и кафедры нормальной и топографической анатомии факультета фундаментальной медицины МГУ имени М.В. Ломоносова.

Материалы диссертации доложены на XXIII Ежегодной сессии национального медицинского исследовательского центра сердечно-сосудистой хирургии им. А.Н. Бакулева Минздрава России (Москва, 2019 г.); 26-м ежегодном Азиатском съезде кардио-торакальных хирургов (Москва, 2018 г.); 6-м международном конгрессе азербайджанского общества кардиоторакальных хирургов «Baku heart days» (Баку, 2019 г.); Московском отделении научного общества анатомов, гистологов и эмбриологов (Москва, 2020 г.).

Публикации

По теме диссертации опубликовано 6 печатных работ, из них 3 – в журналах, входящих в перечень ведущих рецензируемых научных журналов и изданий, рекомендованной ВАК РФ и Scopus.

Объем и структура диссертации

Работа состоит из введения, обзора литературы, описания материалов и методов исследования, двух глав собственного материала, обсуждения полученных результатов, заключения, выводов, практических рекомендаций и списка литературы. Диссертация изложена на 122 страницах машинописного текста, содержит 13 таблиц и 37 рисунков. Список использованной литературы содержит перечень 143 работ: отечественных - 18 и зарубежных авторов – 125.

ГЛАВА 1. ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ

1.1 Анатомо-функциональные особенности корня аорты

Центральное положение в сердце занимает корень аорты, являясь самым крупным сосудом большого круга кровообращения. Его основная функция - обеспечение эффективной доставки артериальной крови всему телу (Фальковский Г.Э., 2014). Важность данной структуры еще в 1513 г. отметил Leonardo da Vinci: «в середине основания сердца находится начало, или основание аорты, которое занимает положение царственное, соответствующее его высочайшему назначению для жизни живого». Точность анатомических изображений клапанов сердца, созданные Leonardo da Vinci, до сегодняшнего дня остается безупречной.

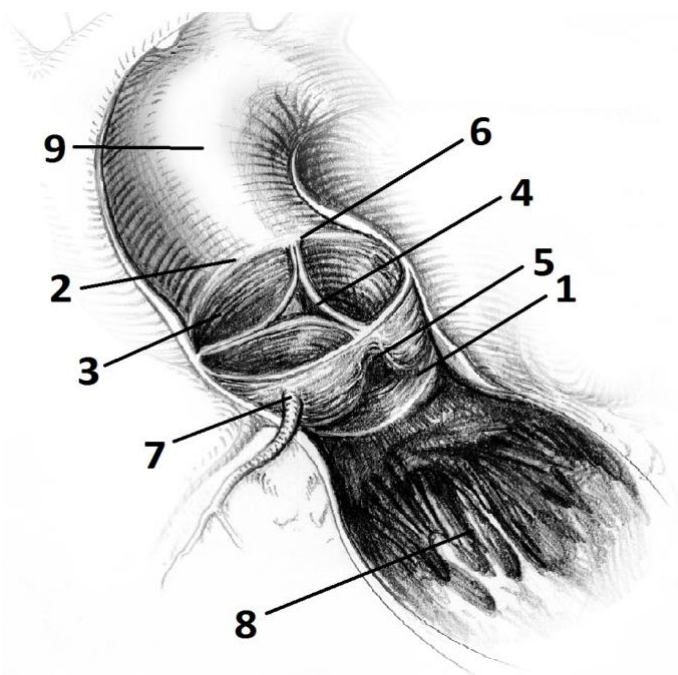
В 1740 году морфологию клапана аорты отразил в своих трудах Valsalva, в которых показал, что заполнение коронарных артерий кровью происходит именно в диастолу. В честь Valsalva в последующем его именем были названы синусы клапана аорты (Valsalva A., 1740). Согласно Walmsley (1929), термин «аортальный корень» впервые употребил Henle (Walmsley T, 1929). J. Zimmerman (1969) начал рассматривать функцию клапана как продолжение его структуры, после чего большая часть исследований приобрела морфо-функциональный характер. Современные ученые, изучающие данную проблему, такие как Robert H. Anderson, Alain Carpentier, Hans-Joachim Schäfers, Tirone David и др., пишут о корне аорты как единой анатомо-функциональной структуре, относящейся как к аорте, так и к левому желудочку.

1.1.1 Строение корня аорты

На сегодняшний день корень аорты определяется как часть грудной аорты, простирающаяся от аортального кольца, т. е. так называемого базального кольца до синотубулярного соединения, располагающаяся позади левого края грудины на уровне третьего межреберья.

Это короткая часть, размером около 2-3 см в длину, включающая в себя следующие компоненты: аортальное кольцо, синусы Вальсальвы и

синотубулярное соединение. Внутренние структуры образуют: створки клапана аорты, межстворчатые треугольники и комиссуры (Anderson R.H., 2000). Некоторые описания корень аорты включают в его состав устья венечных артерий (Sud A., 1984). Независимо от того, как он определен, корень аорты расположен между левым желудочком и аортой, при чем основная его роль в сердечно-сосудистой системе заключается в уравнивании давления между левым желудочком и аортой (рис.1.1). Все компоненты корня аорты должны работать согласовано для поддержания должного уровня кровяного давления. В задачах данного исследования необходимо рассмотреть морфологию каждой структуры корня аорты в отдельности.



- 1 - Базальное кольцо клапана аорты.
- 2 - Синотубулярное соединение.
- 3 - Аортальный синус Вальсальвы.
- 4 - Створка аортального клапана.
- 5 - Межстворчатый треугольник.
- 6 - Коммиссура.
- 7 - Устье коронарной артерии.
- 8 - Левый желудочек.

Рис. 1.1 Изображение корня аорты (ElZein C., 2018).

Что же такое фиброзное кольцо аортального клапана и чем оно отличается от базального кольца и вентрикуло-аортального соединения? При выполнении замены аортального клапана хирурги фиксируют манжетку клапана к линии прикрепления трех створок клапана аорты. Эта линия прикрепления, в действительности, формирует «корону», которую принято называть хирургическим кольцом аортального клапана. Это кольцо также известно как

фиброзное кольцо; оно богато эластическими волокнами и достаточно крепкое, чтобы выдерживать натяжение при креплении к нему искусственного клапана. Базальное кольцо — это функциональная часть аорты, расположенная по виртуальной линии, соединяющей нижние точки каждой створки в одной плоскости (Anderson R.H., 2000; Schäfers H.J., 2013; Patel P.A., 2015). Базальное кольцо, по своей сути, является «ЭХО-кольцом», так как его диаметр измеряют при эхокардиографии (Patel P.A., 2015). Более трети хирургов называют базальное кольцо вентрикуло-аортальным соединением (Sievers H.H., 2012). Термин вентрикуло-аортальное соединение, как определение «кольца», довольно неоднозначен, так как «анатомическое вентрикуло-аортальное соединение» представляет собой переход миокарда левого желудочка в соединительно-тканную структуру аорты (Charitos E.I., 2013). Собственно, вентрикуло-аортальное соединение и базальное кольцо рекомендуется рассматривать отдельно (рис. 1.2) (Bierbach V.O., 2010; Комаров Р.Н., 2019).

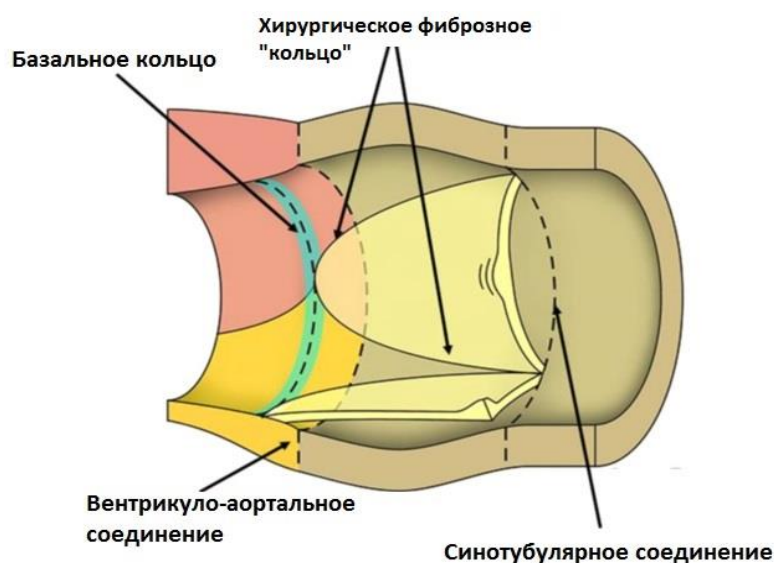
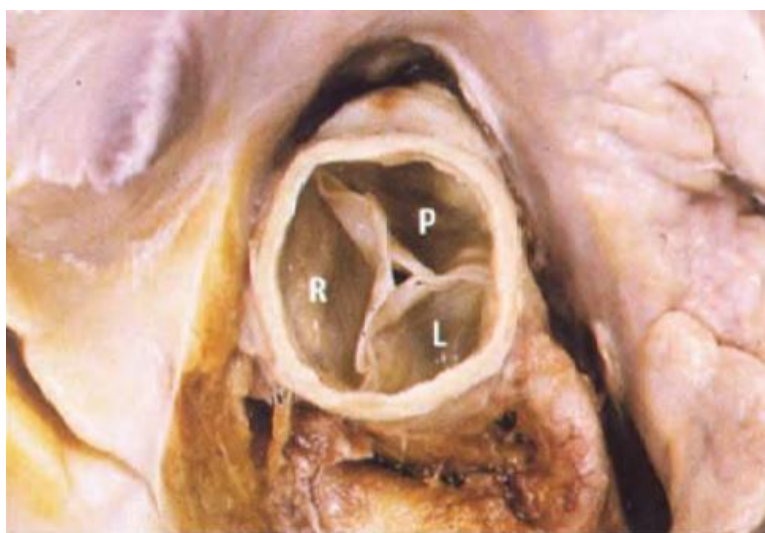


Рис. 1.2 Корень аорты - схема (Anderson R.H., 2000).

Пространства между внутренней поверхностью трех выпуклых частей стенки корня аорты и соответствующими створками называются аортальными синусами Вальсальвы (рис. 1.3). Округлая форма синусов аорты важна для снижения механического напряжения на створки клапана во время сердечных циклов,

создавая вихревые потоки между створками и стенками синусов (Carpentier A., 2010).

Верхней границей синусов является синотубулярное соединение, известное также как супрааортальный гребень. Синотубулярное соединение по форме представляет собой не идеальную окружность. Это слегка приподнятая утолщенная часть стенки аорты, соединяющая между собой три комиссуры и формирующая тем самым слегка зубчатый контур (Bisleri G., 2016; Комаров Р.Н., 2019).



Вид со стороны восходящей аорты. Створки клапана закрыты.

R – правый коронарный синус.

L — левый коронарный синус.

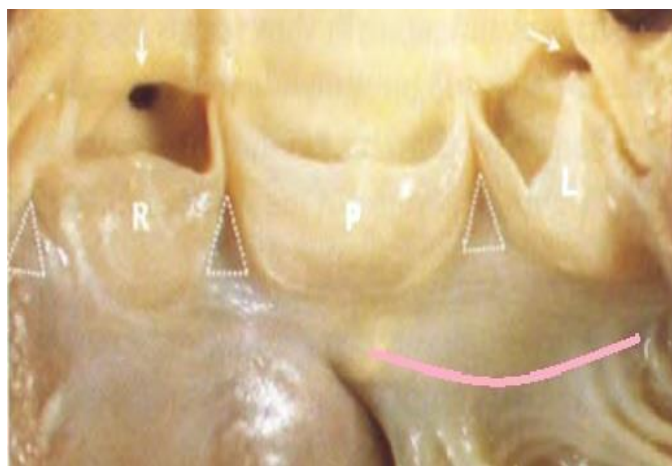
P — некоронарный синус.

Рис. 1.3 Анатомический препарат корня аорты (Schäfers H.J., 2013).

Silver et al. изучили 100 фиксированных формалином сердец взрослых пациентов с функционально нормальными клапанами аорты и обнаружили, что площадь просвета аорты в области синотубулярного соединения увеличивается с возрастом и с весом сердца, причем увеличение веса сердца объясняется гипертрофией миокарда, вызванной системной гипертензией (Silver M.A., 1985). Плоскость синотубулярного перехода лежит не параллельно плоскости, соединяющей основания синусов, а имеет наклон в 11° . На эхокардиографии диаметр синотубулярного перехода составляет 75% от максимального диаметра синусов Вальсальвы (Tamás É., 2007). Объем синусов Вальсальвы наибольший, когда клапан закрыт. Таким образом, синусы выполняют функцию резервуаров и

во время диастолы желудочков позволяют заполнить кровью коронарные артерии. Правый синус является самым большим, левый синус – наименьшим (Loukas M., 2014; Silver M.A., 1985). Когда левожелудочковое давление превышает давление в корне аорты, створки клапанов раскрываются и заслоняют соответствующие синусы, позволяя осуществлять беспрепятственный выброс крови (Комаров Р.Н., 2019).

Под каждой комиссурой между арками, сформированными линиями прикрепления створок, лежат три фиброзных межстворчатых треугольника Генле (рис. 1.4). Несмотря на то, что гистологически они состоят из истонченной стенки аорты (меньше коллагеновых волокон, чем в области синусов Вильсальвы), гемодинамически они являются продолжениями выводного тракта левого желудочка и достигают уровня синотубулярного перехода в области комиссур (Sievers H.H., 2012). McAlpine считал эти области потенциальным местом формирования аневризм (McAlpine W.A., 1975).



R - правая коронарная створка.

L - левая коронарная створка.

P - некоронарная створка.

Пунктирными треугольниками обозначены фиброзные межстворчатые треугольники. Стрелки указывают на устья коронарных артерий. Розовая линия — митрально-аортальный комплекс.

Рис. 1.4 Анатомический препарат корня аорты в разрезе (Schäfers H.J., 2013).

Треугольник между левым и правым коронарными синусами лежит сразу за правым желудочком. Треугольник между правым и некоронарным синусами

обращен к правому предсердию. Он находится в тесной связи с мембранной перегородкой, которая в проксимальном отделе содержит проводящий пучок Гиса. Эта область имеет особое значение во время выполнения операций на клапане аорты, так как травма здесь может привести к временным или постоянным нарушениям проводимости, которые могут потребовать имплантации постоянного кардиостимулятора (Loukas M., 2014). Под треугольником между левым и некоронарным синусом находится аорто-митральный комплекс, ведущий к передней створке митрального клапана. Верхняя часть этого треугольника подходит к поперечному синусу перикарда (Sutton J.P., 1995).

Анатомически каждую створку клапана можно разделить на три части: тело створки, свободный край створки с утолщенным узелком Аранция и фиксированная часть, где створка прикрепляется к корню аорты (Sievers H.H., 2012). Тело створок гибкое и тонкое, хотя и неравномерной толщиной. Каждая створка имеет слегка «шершавую» поверхность, обращенную к аорте, и более гладкую поверхность, обращенную к желудочку. На желудочковой поверхности створки расположена зона, известная как лулула, занимающая всю ширину вдоль свободного края и охватывающая приблизительно одну треть глубины створки. В этой части створки соприкасаются при закрытии клапана, образуя зону коаптации и, тем самым, отделяя кровь в полости левого желудочка от крови в аорте (Комаров Р.Н., 2019). Фенестрации в области лулулы частое явление, особенно у пожилых людей, тем не менее, клапан остается компетентным, потому что они находятся выше линии коаптации. Более крупные фенестрации, которые выходят за пределы зоны коаптации, могут привести к значительной клапанной регургитации (Ho S.Y., 2009). С возрастом створки становятся толще и жестче. В своем исследовании Sahasakul и соавторы сравнивали толщину створок в нормальных сердцах у пациентов трех возрастных групп: меньше 20 лет, 20-59 лет и более 60 лет. Было обнаружено увеличение толщины узелка, лулулы и тела створки с возрастом, особенно у лиц после 50 лет, у которых узелок становился вдвое толще лулулы (Sahasakul Y., 1988). Склероз, дистрофический кальциноз или спайки комиссур могут привести к стенозированию клапана.

Гистологически каждая створка состоит из волокнистой основы, покрытой субэндотелиальными фиброэластическими слоями, называемыми артериальными со стороны аорты и желудочковым со стороны поверхности левого желудочка. Артериальная часть содержит главным образом коллагеновые волокна с небольшим количеством эластина. Желудочковая часть состоит из более рыхлой соединительной ткани, богатой протеогликанами. Желудочковый слой тоньше артериального и содержит больше эластина и меньше организованных волокон коллагена. У луны и свободного края каждой створки вентрикулярный слой становится толще, особенно в узелке Аранция, где он представляет собой массу эластичной ткани (Но S.Y., 2009). Изучая биомеханику аортального клапана, Vesely установил, что эластин действует как «помощник» в восстановлении коллагеновых волокон обратно в исходное состояние (Vesely, 1997).

1.1.2 Расположение корня аорты относительно других структур сердца

При рассмотрении сердца в передне-задней проекции, четко видно, что корень аорты является центральным элементом сердца (рис. 1.5). Слева и спереди от корня аорты находится легочный ствол, который в свою очередь лежит позади третьего реберного хряща, а сзади митральный и трикуспидальный клапаны (Carpentier A., 2010).

Левый коронарный синус прилежит к стенке левого желудочка и правой ветви легочной артерии, под правым коронарным синусом лежит межжелудочковая перегородка (МЖП) и полость правого желудочка, под некоронарным синусом мембранозный отдел межжелудочковой перегородки, межпредсердная перегородка, стенка правого предсердия и передняя створка митрального клапана и левое предсердие (Караськов А.М., 2006; Комаров Р.Н., 2019). Плоскость аортального клапана наклоняется книзу под углом к легочному клапану. Нижние точки синусов аортального клапана лежат под углом 30 градусов от горизонтальной плоскости (McAlpine W.A., 1975).

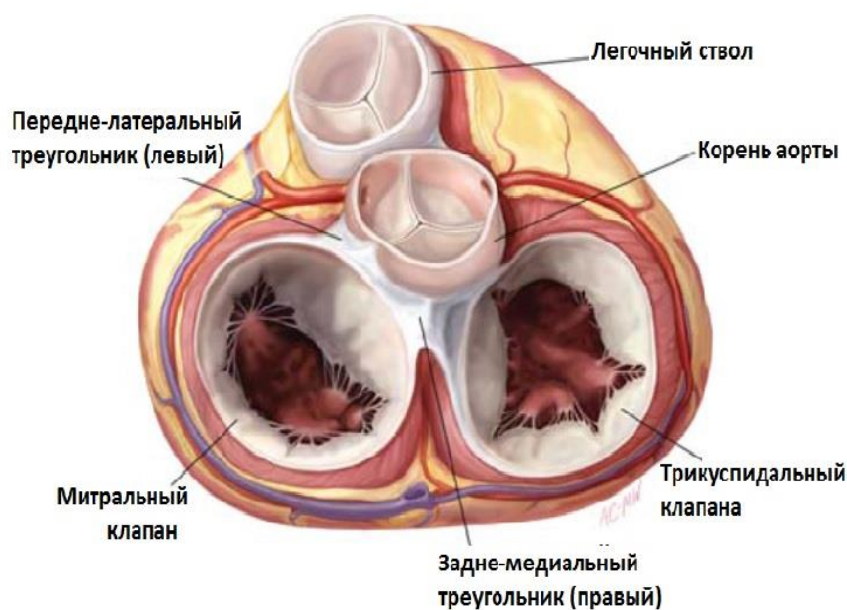


Рис. 1.5 Топография корня аорты. Предсердия удалены (Carpentier A., 2010).

Структуры корня аорты, состоящие из плотной соединительной ткани, являются частью фиброзного каркаса сердца, выполняющего опорную и формообразующую функции. К ним относят: дугообразные зоны прикрепления створок аортального клапана (хирургическое кольцо) от которых фиброзная ткань распространяется вокруг отверстий митрального и трикуспидального клапанов, формируя тем самым фиброзные кольца предсердно-желудочковых клапанов. А также аорто-митральный комплекс — фиброзная мембрана, соединяющая межстворчатый треугольник между некоронарной и правой коронарной створками аортального клапана с передней створкой митрального клапана (Андерсон Р.Г., 2015; Комаров Р.Н., 2019).

1.1.3 Функционирование корня аорты

Все компоненты корня аорты движутся согласованно и синхронно. Они изменяют свою форму и размер в течение различных фаз сердечного цикла, чтобы обеспечить выброс до 15 л в минуту с минимальными потерями энергии. Во время ранней систолы смещение кольца аорты вниз, вызванное изоволюметрическим сокращением левого желудочка, инициирует открытие

аортального клапана. Во время поздней систолы окружность кольца клапана аорты уменьшается в результате сокращения желудочков, а окружность синотубулярного соединения увеличивается в результате повышения давления. Сужение кольца не одинаково со всех сторон; левый и правый секторы кольца сокращаются значительно больше, чем некоронарный сектор. Во время диастолы, аортальный клапан закрывается, и окружность кольца увеличивается в результате аортального обратного потока. Синусы Вальсальвы расширяются, и комиссуры перемещаются внутрь из-за эластичности стенки аорты и нагрузки на створки. Вихревые потоки, созданные в синусах Вальсальвы, играют важную роль, на что впервые указал Леонардо да Винчи. Эти вихри не только закрывают створки аортального клапана, но и поддерживают коронарное кровообращение, как во время систолы, так и во время диастолы (Carpentier A., 2010; Комаров Р.Н., 2019).

1.2 Развитие и патология клапана аорты

Полулунные аортальный и легочный клапаны образуются путем слияния эмбриональных валиков, расположенных на артериальном полюсе развивающегося сердца. Всего имеются четыре валика: два - разделяющих выводящие тракты правого и левого желудочков, и два - берущих начало в вентрикулоартериальном соединении. Слияние первых двух валиков дает начало передним правым и левым аортальным створкам, тогда как слияние последних дает начало некоронарной створке (Anderson R.H., 2003). Дефекты сращения клапанных валиков представляют собой ключевой фактор в формировании врожденно двустворчатых аортальных клапанов (Schäfers H.J., 2013).

Аортальный клапан может иметь от 1 до 4 створок различных размеров. Функционально аномалия развития клапана проявляется аортальным стенозом, недостаточностью или их комбинацией (Комаров Р.Н., 2019).

Наиболее частым вариантом является двустворчатый аортальный клапан, распространенность которого в нормальной популяции по разным данным от 0,5% до 2,5% (Tripathi A., 2018; Hassanabad A.F., 2019). У мужчин данная патология встречается в 4 раза чаще, чем у женщин (Liu T., 2019). Большинство

пациентов с двустворчатым аортальным клапаном являются асимптомными и какие-либо клинические проявления у них отсутствуют. Однако данная группа имеет большую склонность к развитию склеротических изменений корня аорты и кальцинации, особенно у молодых, по сравнению с группой пациентов с нормальным трехстворчатым аортальным клапаном.

Двустворчатый аортальный клапан является причиной около 50% стенозов аортального клапана у взрослых. Морфология двустворчатого аортального клапана переменчива (Liu T., 2019). Створки клапана могут быть почти одинаковыми по размеру, или одна створка может быть больше, а другая намного меньше (рис. 1.6). Большая створка очень часто имеет сращение посередине, обозначающая место, где створка должна была разделиться во время развития. Некоторые двустворчатые клапаны имеют расщепление в одной створке, что свидетельствует о неполном разделении на две створки в процессе развития, в то время как другие являются следствием приобретенного слияния, происходящего при дегенерации клапана (Комаров Р.Н., 2019). Их можно отличить от истинных двустворчатых клапанов тем, что свободный край псевдокомиссуры идет к синотублярному соединению, но на практике это проследить часто бывает невозможно. Так же при псевдодвустворчатом клапане присутствуют три треугольника и три пазухи. Треугольник под линией сращения может быть почти таким же высоким, как и другие треугольники. Напротив, треугольник, лежащий под линией сращения двустворчатого клапана, значительно уменьшается в высоту, что способствует ограничению подвижности створки (Smith A., 1989; Комаров Р.Н., 2019).

Створки двустворчатого аортального клапана расположены либо в переднезаднем, либо в право-левом направлении. Переднезадняя ориентация наиболее частая и встречается в 79% случаев, и обе коронарные артерии берут начало из переднего синуса, который имеет сращение створок (Stanger H.O., 2019; Комаров Р.Н., 2019). В право-левом расположении створок в каждом синусе может быть найдено коронарное отверстие, причем сращение всегда находится в правой створке. Выходное отверстие аортального клапана также может быть

ограничено общей длиной свободного края створок. Если створки излишни по длине своего свободного края, будет вероятнее всего формироваться стеноз. Кальцинирование двустворчатого клапана начинается сначала вдоль сращения створок, а также на аортальной поверхности других створок (Stanger H.O., 2019; Комаров Р.Н., 2019).



Рис. 1.6 Двустворчатый аортальный клапан (Но S.Y., 2009).

Небольшая степень кальцинации трехстворчатого аортального клапана наиболее часто распространена у пожилых людей. Дегенеративный клапанный стеноз, вызванный кальцификацией, чаще встречается у пациентов старше 65 лет. В таких случаях комиссуральные сращения отсутствуют или минимальны, за исключением случаев, когда имеется сопутствующая ревматическая болезнь клапана (Sadée A.S., 1994). Выходное отверстие принимает треугольную форму. Створки становятся жесткими и малоподвижными. Напротив, стеноз, возникающий в трехстворчатом аортальном клапане у младенцев и детей, часто обусловлен дисплазией соединительной ткани створок.

Одностворчатый аортальный клапан является редкой врожденной аномалией сердца, формирующейся в период эмбрионального развития (Sniecinski R.M., 2009). По данным Novaro и соавторов частота встречаемости одностворчатого аортального клапана у взрослых на основании эхокардиографических данных составляет приблизительно 0,02%, и аномалия часто обнаруживается во время операции по поводу аортального стеноза или при вскрытии (Novaro G.M., 2003;

Montealegre-Gallegos M., 2014). Эта патология может также сопровождать другие сердечные аномалии, такие как аортальная недостаточность, аневризма аорты, расслоение аорты, открытый артериальный проток и коарктация аорты (Moller J.H., 1966). Одностворчатый аортальный клапан можно разделить на два морфологических типа, а именно: акомиссуральный тип с точечным отверстием в центре и уникомиссурный тип с щелевидным отверстием (Anderson R.H., 2003). Акомиссурный тип обычно сопровождается тяжелым стенозом, симптомы которого обычно присутствуют при рождении, и многим пациентам, нуждающимся в неотложной помощи выполняется аортальная вальвулопластика или хирургическое вмешательство при тяжелом стенозе в младенчестве или детстве (Moller J.H., 1966; Комаров Р.Н., 2019). Уникомиссуральная форма обычно имеет относительно большее отверстие, чем акомиссуральная, и, таким образом, пациент может оставаться бессимптомным и гемодинамически стабильным до зрелого возраста (Moller J.H., 1966; Комаров Р.Н., 2019).

Четырехстворчатый аортальный клапан так же как и одностворчатый чрезвычайно редок и может приводить к стенозу по мере развития кальцификации (рис. 1.7). Однако, по словам McAlpine четырехстворчатый клапан со створками одинакового размера чаще проявляется регургитацией. Он высказал мнение, что соотношение между площадью поверхности створки и линией прикрепления увеличивается, отклоняясь от оптимального соотношения, которое наблюдается в трехстворчатой конструкции (McAlpine W.A., 1975).

Аортальная недостаточность встречается реже, чем стеноз аорты. Наиболее широко используемая классификация, предложенная El Khoury в 2009 году, основана на концепции, что аортальный клапан аналогичен митральному клапану и, следовательно, классификации Carpentier о митральной недостаточности (Boodhwani M., 2014). Классификация идентифицирует следующие виды аортальной недостаточности:

«Тип I»: регургитация, связанная с изменениями кольца аорты, но при этом нормальным движением створок. Его можно дополнительно разделить на «тип I-A» (из-за дилатации синотубулярного перехода и восходящей аорты), «тип I-B»

(из-за дилатации синотубулярного перехода и синусов Вальсальвы), «типа I-C» (из-за дилатации вентрикулоаортального перехода) или «тип I-D» (из-за перфорации створок без первичного функционального поражения аортального кольца).

«Тип II»: регургитация, связанная с пролапсом створок.

«Тип III»: регургитация, связанная с ограничением подвижности створок, например, в случае утолщения, фиброза и кальциноза створок аортального клапана.

Так же существует смешанное поражение аортального клапана. Для каждого типа аортальной недостаточности существуют специфические методы реконструкции (Boodhwani M., 2014; Комаров Р.Н., 2019).



ACC - дополнительная створка.

LCC - левая коронарная створка.

RCC - правая коронарная створка.

NCC - некоронарная створка.

Рис. 1.7 ЭХО-картина четырехстворчатого аортального клапана (Kawase I., 2011).

1.3 Методы хирургической коррекции аортальных пороков

1.3.1. Развитие пластических и реконструктивных вмешательств на клапане аорты

Первые сообщения об успешной хирургической коррекции аортального порока датируются 1912 годом, и с тех пор методы лечения продолжают совершенствоваться. Операция была выполнена пациенту 26 лет, с клиникой прогрессирующей сердечной недостаточности на фоне тяжелого аортального стеноза. Французский хирург Theodore 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 (Iaizzo P., 2013). 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. (Benjamin R.B., 1956; Swan H., 1956) с использованием гипотермии и вскоре после этого с использованием искусственного кровообращения (Lillehei C.W., 1958; Spencer F.C., 1958). 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 (Комаров Р.Н., Катков А.И., Пузенко Д.В., 2019).

Попытки устранения пролапса створок аортального клапана начали предприниматься в 1970-х гг. Т. Котіуа и соавт. предложили выполнять укорочение края створки вблизи комиссур, однако эта техника редко используется в настоящее время (Котіуа Т., 2015). Исследования распределения нагрузки на аортальные створки во время диастолы показали, что напряжение является самым высоким в паракомиссурных областях свободного края створки

(Gnyaneshwar R., 2002). А. Carpentier разработал метод треугольной резекции избыточной ткани створки с аппроксимацией остаточных частей (Carpentier A., 1983). Также Carpentier внедрил в практику циркулярный шов, «выбривание» утолщенного полулуния створки, пластику перфоративных отверстий заплатой из аутоперикарда. Данные методы не потеряли актуальности и используются во многих клиниках. С. Duran и соавторы описали метод усиления свободного края створок с помощью двухслойного политетрафторэтиленового шва, проходящего вдоль свободного края от одной комиссуры к другой (Duran C., 1991). 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 (Fattouch K., 2008). Наиболее преобладающим методом является центральная пликация или укорочение длины свободного края пролабирующей створки с помощью простых полипропиленовых швов 5-0 или 6-0 (Комаров Р.Н., Катков А.И., Пузенко Д.В., 2019).

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 (Schäfers H.J., 2006).

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 (ЧП ЭхоКГ) коаптацию регулируют путем натяжения швов (Fattouch K., 2008).

1.3.2 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 (Hufnagel С.А., 1953; Chaikof E.L, 2007). 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 (Cervantes J., 2003).

Кардиохирургия вообще и хирургия аортального клапана в частности получила бурное развитие во второй половине XX в. в связи с появлением аппарата искусственного кровообращения (Hessel Е.А., 2015). 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 (Harken D.E., 1960; Cohn L.H., 2015). 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 (Zilla P., 2008): 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.В. 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 (Соловьёв Г.М., 1967; Комаров Р.Н., Катков А.И., Пузенко Д.В., 2019).

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 гетерографты (ксенотрансплантаты, гетеротрансплантаты) (Комаров Р.Н., Катков А.И., Пузенко Д.В., 2019).

Отцами применения гетерографтов являются С. Duran и А. Gunning из Оксфорда, пересадившие в 1964 г. первый свиной лиофилизированный аортальный клапан в анатомическое положение пациенту, который умер 24 ч спустя от причины, не связанной с операцией (Robicsek F., 1994). 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 (Binet J., 1966). Эти процедуры положили начало использованию биологических клапанов в кардиохирургии, и в 1971 г. А. Carpentier официально ввел термин «биопротез» (Huang G., 2011). Со временем биологические клапаны совершенствовались, их начали обрабатывать раствором глутарового альдегида и устанавливать в металлический каркас (Комаров Р.Н., Катков А.И., Пузенко Д.В., 2019).

Разработка ксенотрансплантатов продолжала активно развиваться. В 1971 г. I. Shiley создал протез аортального клапана, представляющий собой бычий перикард, зафиксированный на титановой стенке, 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 (Wenn P., 2020).

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 Perirount (Edwards Life Sciences, Ирвайн, США), St. Jude Trifecta (St. Jude Medical Inc., Сент-Пол, США) свиной аортальный клапан Medtronic Mosaic (Medtronic, Миннеаполис, США) (Yanagawa B., 2008).

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: Freedom SOLO Bioprosthesis (LivaNova PLC, Лондон, Великобритания), 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 (Yanagawa B., 2008; Wollersheim L., 2015; Fleerackers J., 2018).

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 (Кудрявцева Ю.А., 2015; Комаров Р.Н., Катков А.И., Пузенко Д.В., 2019).

Еще одна разновидность биоклапанов — бесшовные клапаны. Это современная технология, применяемая в кардиохирургии у пациентов высокого риска, которая позволяет быстро установить биопротез без пришивания к фиброному 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 (Magovern G.J., 1963). Однако концепцию отвергли из-за большого количества осложнений, таких как параклапанные фистулы и связанные с клапаном тромбоэмболические 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 (Комаров Р.Н., Катков А.И., Пузенко Д.В., 2019). 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 клапан аорты Perceval S у пожилых пациентов (Forcillo J., 2016; Laborde F., 2016).

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.

1.3.3 Применение гомографтов и аутографтов

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 (Murray G., 1956). 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 уменьшилось в размерах. Выслушать характерную аускультативную картину аортального клапана с помощью стетоскопа можно было в средней части спины (Комаров Р.Н., Катков А.И., Пузенко Д.В., 2019).

Трупный гомографт в ортотопическую позицию впервые в мире в июле 1962 г. при тотальном кальцинозе аортального клапана имплантировал британский кардиохирург D.N. Ross, он опирался на работы С. Duran и А. Gunning. Пациент прожил 3 года (Binet J., 1966; Ross D.N., 1968). В том же году, работая независимо, В. Barrett-Boyes также описал подобный успешный случай (Комаров Р.Н., Катков А.И., Пузенко Д.В., 2019).

С течением времени выяснилось, что гомографты подвергаются быстрой дегенерации 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 трупный гомографт (Ross D.N., 2002) (рис. 1.8). 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 тромбоэмболических и геморрагических осложнений и устойчивостью аутографта к дегенеративным изменениям (Ibrahim M., 2018).

Однако длительное время операция Росса не находила широкого применения, что объяснялось ее технической сложностью.

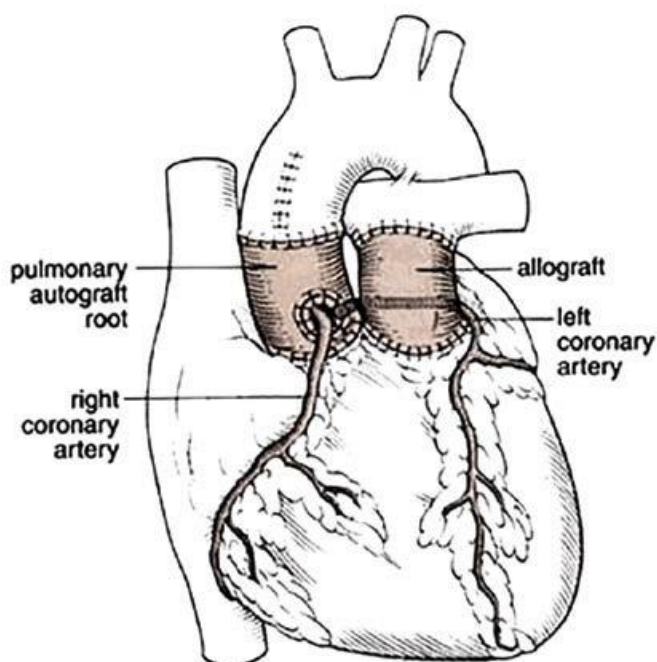


Рис. 1.8 Результат операции Росса (Iaizzo P., 2009).

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 стерилизации и хранения гомотрансплантата аортального клапанов 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. Vidne в НМИЦ им. ак. Е.Н. Мешалкина в 1998 г. Через 2 мес. в том же центре Ю.Н. Горбатовых с бригадой хирургов провели две подобные операции. Данная методика продолжает использоваться в большей степени в детской кардиохирургии (Комаров Р.Н., Катков А.И., Пузенко Д.В., 2019).

В РФ процедура Росса выполняется в крупных кардиохирургических центрах и наибольшим опытом в ее проведении обладают А.М. Караськов и И.И. Чернов.

1.3.4 Технологии некуспидизации аортального клапана: история и современность

В 1956 г. С.W. Lillehei выполнил первую успешную пластику створок клапана аорты пациенту с выраженной аортальной регургитацией. Проведено сшивание двух створок, тем самым устранены пролапс и недостаточность (Lillehei С.W., 1958). В 1959 г. впервые применен синтетический материал для замены створок аортального клапана. Н.Т. Bahnson пациенту с тяжелым стенозом выполнил комиссуротомию и удаление кальцинированной створки с оставлением небольшого бортика, к которому впоследствии пришил тефлоновую неостворку (Bahnson Н., 1960). 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 (Bjork V.O., 1964). С целью решения данной проблемы в 1980-х г. начали обрабатывать аутоперикард 0,6% раствором глутарового альдегида, что повысило прочность и срок эксплуатации неостворок, а также уменьшило антигенные свойства ткани (Комаров Р.Н., Катков А.И., Пузенко Д.В., 2019).

В 2007 г. S. Ozaki с соавт. предложил 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 (Ozaki S., 2014). Оригинальный метод Ozaki заключается в иссечении створок патологического клапана, выкраивании неостворок из фиксированного в 0,6% растворе глутарового альдегида аутоперикарда по специально разработанным шаблонам и пришиванию их в позицию удаленных створок. Для измерения межкомиссуральных расстояний используются оригинальные измерители (рис. 1.9). Каждому межкомиссуральному расстоянию соответствует шаблон определенного размера.

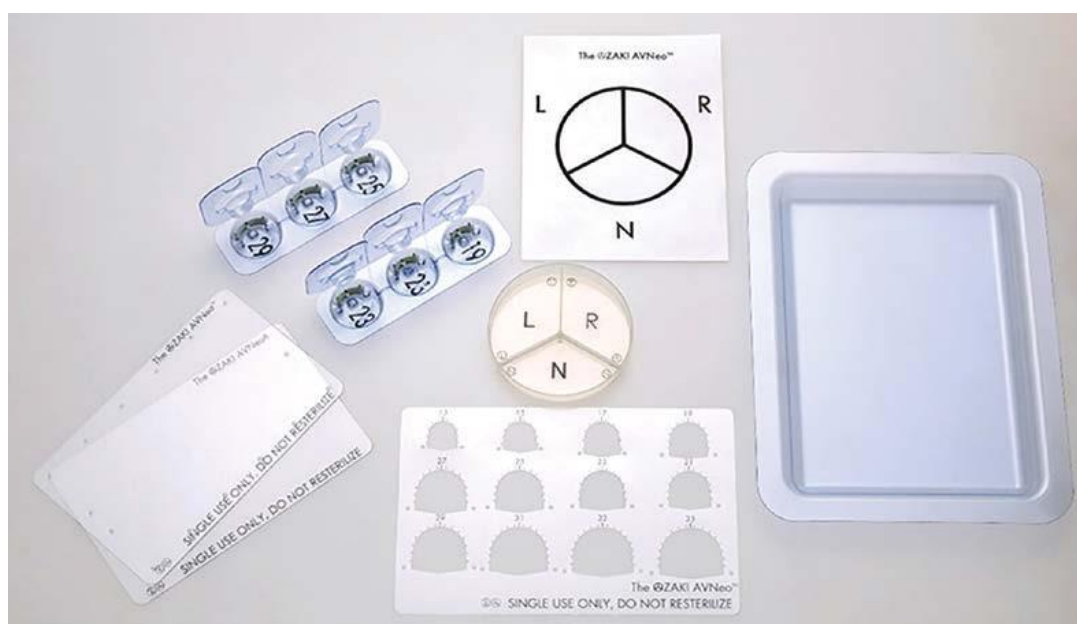


Рис. 1.9 Оригинальный набор инструментов Ozaki.

Ранее по схожей методике имплантировались бескаркасные клапаны из аутоперикарда, однако они представляют собой одну полноценную структуру (Banbury M.K., 1998; Halees Z., 2005; Chan K.M.J., 2011). 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.

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 соавторы в статье 2016 г. 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 (Россейкин Е.В., 2016). 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 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 (Базылев В.В., 2018).

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 Venaki 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 Venaki применяется специальный «трехлапчатый» пинцет для комфортности создания неостворок аортального клапана (Комаров Р.Н., Катков А.И., Пузенко Д.В., 2019).

Известно специальное удерживающее устройство для формирования и одномоментной пластики створок аортального клапана (MAAZOUZI APS AORTIC PLASTY-SIZER). В работе А.С. Несмачного подробно описана техника применения устройства в клинической практике (Несмачный А.С., 2016). Позиционирование будущих створок в удерживающем устройстве перед имплантацией позволяет быстро и точно, в соответствии с диаметром фиброзного кольца аорты, сформировать неоклапан.

Известен способ формирования створок аортального клапана, выкроенных после интраоперационного измерения межкомиссуральных расстояний. Длина свободного края каждой неостворки должна на 20% быть больше межкомиссурального расстояния, высота створки составляет 0,866 от межкомиссурального расстояния. Фиксация створок к аортальному кольцу осуществляется непрерывным швом (Gasparyan V.C., 2000). Недостатком способа является отсутствие описанных в литературе результатов применения данной методики в клинической практике.

1.4 Резюме к главе 1

Корень аорты является совершенной и очень сложной структурой. Каждый компонент корня аорты, хотя и прост в своей морфологии, имеет оптимальную

макроскопическую, микроскопическую структуру и анатомическую архитектуру. Это обеспечивает пульсовой, однонаправленный характер проведения больших объемов жидкости, сохранение ламинарного потока, минимальное сопротивление и наименьшее возможное напряжение и повреждение тканей при различных гемодинамических условиях. Ни один заменитель нативного клапана не сможет так же совершенно выполнять свою функцию. Поэтому, хотя и существует большое число способов восстановления клапана аорты, у каждого из них существуют свои плюсы и минусы. Исходя из этого можно сделать вывод, что идеальной замены клапана аорты еще нет, и перед нами открыты огромные горизонты в разработке новых или усовершенствовании старых методов реконструктивной хирургии.

ГЛАВА 2. МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

2.1 Материал и методы анатомической части исследования

С целью определения взаимоотношений между различными размерными характеристиками структур корня аорты была проведена их морфометрия на препаратах сердца, взятых от 54 трупов взрослых людей, погибших от причин, не связанных с заболеванием сердца, и поступивших в отделение патологической анатомии Первого МГМУ имени И.М. Сеченова, а так же в отделение патологической анатомии Городской Клинической Больницы имени А.К. Ерамишанцева с февраля 2018 года по декабрь 2018 года (Москва, Россия).

Исследование было одобрено локальным этическим комитетом Первого МГМУ имени И.М. Сеченова (выписка из протокола № 03-19 от 13.02.2019). Основным критерием отбора являлось отсутствие каких-либо патологических изменений структур корня аорты. Важно отметить, что по данным ЭХО-КГ, выполненной пациентам в больнице незадолго до смерти, функция клапанов сердца у них не страдала.

Исследование включало 54 трупа, среди которых 30 (56%) мужчин и 24 (44%) женщины. Возраст варьировал от 38 до 85 лет (средний $65 \pm 13,7$ лет, медиана 66,0), рост - от 150 до 185 см (средний $167,5 \pm 8,79$ см, медиана 167,0), вес - от 40 до 120 кг (средний $74,2 \pm 18$ кг, медиана 70,0), ППТ - от 1,37 до 2,26 м² (средняя $1,83 \pm 0,23$ м², медиана 1,8), ИМТ - от 12,2 до 43,5 кг/м² (средний $25,74 \pm 5,68$ кг/м², медиана 24,6).

В большинстве случаев причиной смерти были онкологические заболевания (табл. 2.1), которые наблюдались у 16 пациентов (29,6%). На втором месте причиной смерти были острые нарушения мозгового кровообращения (ОНМК) как ишемического, геморрагического, так и травматического генезов — 12 пациентов (22,2%). У 10 (18,5%) пациентов были диагностированы острые воспалительные заболевания - перитонит, пиелонефрит, пневмония, сепсис и др. 9 пациентов (16,7%) умерли от различных осложнений ишемической болезни сердца (ИБС). Причина смерти – тромбоэмболия легочной артерии (ТЭЛА)

зарегистрирована у 3 (3,7%). От хронической обструктивной болезни легких (ХОБЛ) умерло 2 человека (3,7%). Один пациент (1,9%) скончался от отравления алкоголем и один – от желудочно-кишечного кровотечения.

Таблица 2.1 Основные причины смерти.

Причина смерти	количество трупов	%
Онкология	16	29,60%
ОНМК	12	22,20%
Острые воспалительные заболевания	10	18,50%
ИБС	9	16,70%
ТЭЛА	3	5,50%
ХОБЛ	2	3,70%
Отравление алкоголем	1	1,90%
ЖКК	1	1,90%
Всего	54	100,00%

Извлечение сердца проводилось по стандартной методике. Специальными измерителями (St. Jude Medical) оценивался диаметр кольца клапана аорты. Затем рассекался корень аорты по линии, проходящей по комиссуре между правой и левой коронарными створками (рис. 2.1, 2.2).

Морфометрия проводилась с помощью циркуля с точностью до 1.0 мм и методики точного моделирования нити по конфигурации структуры сердца с последующим измерением ее длины линейкой (рис. 2.3). Наличие каких либо повреждений структур являлось критерием исключения из исследования.



Рис. 2.1 Рассеченный левый желудочек и корень аорты. Наблюдение №7, женщина 40 лет.



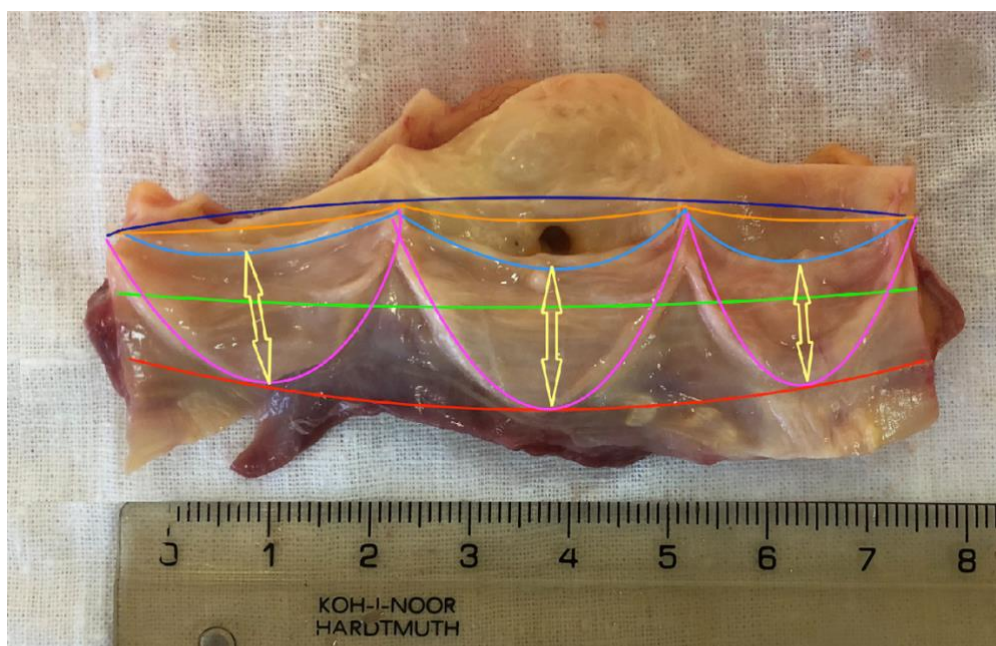
Рис. 2.2 Подготовленный для морфометрии препарат корня аорты. Наблюдение №3, мужчина 66 лет.

Измерялись следующие параметры:

- 1) Длина окружности вентрикуло-аортального соединения (кольца аортального клапана) (ВА);
- 2) Длина окружности на уровне синусов Вальсальвы (СВ);
- 3) Длина окружности на уровне синотубулярного соединения (СТС).

Для каждой створки клапана аорты в отдельности – правой коронарной (ПКС), некоронарной (НКС) и левой коронарной (ЛКС) определялись:

- 4) Межкомиссуральное расстояние (IC);
- 5) Длина свободного края створки (L1);
- 6) Длина прикрепления створки к фиброзному кольцу (L2);
- 7) Высота створки (A).



- Длина окружности сино-тубулярного соединения
- Длина окружности на уровне синусов Вальсальвы
- Длина окружности вентрикуло-аортального соединения
- Межкомиссуральное расстояние
- Длина свободного края створки
- Длина прикрепления створки к фиброзному кольцу
- Высота створки

Рис. 2.3 Измеряемые параметры корня аорты. Наблюдение №3, мужчина 66 лет.

2.2 Характеристика клинической части исследования

Общей задачей данной части исследования явилась оценка безопасности и воспроизводимости восстановления створок клапана аорты из аутоперикарда с помощью предложенных нами рекомендаций.

В исследование включено 12 больных, находившихся на обследовании и лечении в кардиохирургическом отделении УКБ №1 Первого МГМУ им. И.М. Сеченова в период с 2017 по 2019 год. Основным критерием включения пациентов явилось наличие порока клапана аорты, требующей хирургической коррекции согласно действующим рекомендациям Европейского общества кардиологов и Европейской ассоциации кардиоторакальных хирургов, а также Американской ассоциации сердца (Baumgartner H., 2017; Nishimura R.A., 2017). Все больные дали информированное согласие до начала участия в исследовании и проведения хирургического вмешательства.

Исследование было одобрено локальным этическим комитетом ФГАОУ ВО Первый МГМУ имени И.М. Сеченова Минздрава России и по дизайну спланировано как пилотное, проспективное, одноцентровое (выписка из протокола № 03-19 от 13.02.2019). Определялись непосредственные результаты и через 2 недели после оперативного лечения. Все больные подверглись стандартному для пациентов кардиохирургического профиля обследованию перед операцией: оценивались данные анамнеза, клинических и инструментальных исследований.

Критериями исключения являлись: инфаркт миокарда давностью менее 6 месяцев, декомпенсированная сердечная недостаточность, декомпенсированная почечная и печеночная недостаточности, наличие декомпенсированного сахарного диабета, доброкачественных и злокачественных новообразований, предшествующих операций на сердце, атеросклеротических поражений двух и более артериальных бассейнов, требующих симультанного хирургического вмешательства.

Всем пациентам была выполнена замена клапана аорты неоклапаном из аутоперикарда (неокуспидизация), изготовленным по регрессионным формулам, полученным в результате морфометрии корня аорты.

В исследование было 6 (50%) мужчин и 6 (50%) женщин. Средняя площадь поверхности тела, рассчитанная по стандартной формуле, составила $1,8 \pm 0,16 \text{ м}^2$. Возраст больных колебался от 31 до 76 лет, в среднем 58 ± 14 лет. Больше всего пациентов было в возрастной группе от 50 до 69 лет - 7 человек, что составило 58% от общего количества прооперированных. Количество пациентов до 49 лет составило 3 (25%); данная группа представлена лицами относительно молодого возраста без большого числа факторов риска и сопутствующих заболеваний. Пациенты старше 70 лет составили самую немногочисленную группу 2 человека – 17%, но при этом, наиболее тяжелую, относительно общего соматического статуса с наличием сопутствующих заболеваний и многочисленными факторами риска. Общие данные распределения больных относительно возраста представлены в таблице 2.2.

Таблица 2.2 Распределение больных по возрасту.

Возраст больных	Количество больных	%
До 49 лет	3	25
50 – 69 лет	7	58
Более 70 лет	2	17
Всего:	12	100

8 (67%) пациентов имели аортальный стеноз, 2 (17%) пациентов имели аортальную недостаточность и 2 (17%) комбинированный аортальный порок.

По параметрам дооперационной эхокардиографии у пациентов с аортальным стенозом средний пиковый градиент давления на клапане аорты составил 71,5 (66,5; 86,8) мм рт. ст., средний градиент – 42 (38,5; 57,3) мм. рт. ст., скорость кровотока - 422,5 (412,5; 465,5) см/с, диаметр аортального отверстия – 0,7 (0,6; 0,8) см². Средний размер фиброзного кольца клапана аорты 21,5 (19,3; 23,5) мм. 6

пациентов имели функционально двустворчатый клапан аорты. У 2 больных с тяжелой степенью аортальной недостаточности выявлено расширение корня аорты до 40 мм на уровне синусов Вальсальвы. Более полная характеристика эхокардиографическая характеристика пациентов отражена в таблице 2.3

Таблица 2.3 Основные эхокардиографические параметры пациентов.

Параметр	Средние значения	
КДР ЛЖ, см	4,6 (4,2; 5,2)	
КДО ЛЖ, мл	78,0 (65; 126,3)	
КСО ЛЖ, мл	23,5 (18; 43)	
ФИ ЛЖ, %	67 (63,8; 71)	
Зоны асинергии ЛЖ, %	Не выявлены (100%)	
VTI	25,6 (23,2; 29,7)	
ЗСЛЖ, см	1,2 ± 0,2	
МЖП, см	1,5 ± 0,3	
ЛП, мл	70 (59,5; 100)	
ПЖ, см	2,8 (2,6; 3,1)	
ПП, мл	47 (31,8; 49)	
D ФК АК, мм	21,5 (19,3; 23,5)	
D Синусы Вальсальвы, мм	36 (30,3; 38)	
D Синотубулярное соединение, мм	25,3 (24,5; 30)	
D Восходящая аорта, мм	38,1 ± 3,6	
Скорость кровотока на АК, см/с	422,5 (412,5; 465,5)	
Максимальный градиент на АК, мм.рт.ст	71,5 (66,1; 86,8)	
Средний градиент на АК, мм.рт.ст	42 (38,5; 53,3)	
Количество створок АК, шт.	2	5 (42%)
	3	7 (58%)

Кальциноз АК, ст.	нет	1 (8%)
	2 степень	3 (25%)
	3 степень	8 (67%)
S отверстия АК, см ² (при стенозе)		0,7 (0,6; 0,8)
Степень аортальной регургитации	нет	4 (33%)
	1 степень	4 (33%)
	2 степень	2 (17%)
	3 степень	2 (17%)
Средний градиент на МК, мм.рт.ст		4,5 (3; 5,3)
Степень митральной регургитации	нет	2 (17%)
	1 степень	7 (58%)
	2 степень	3 (25%)
Степень трикуспидальной регургитации	нет	3 (25%)
	1 степень	8 (67%)
	2 степень	1 (8%)
СДЛА, мм. рт. ст.		32 (28,8; 39,3)

Для нормального распределения данные представлены как среднее значение и стандартное отклонение. Для непараметрического распределения данные представлены как медиана, первая и третья квартиль.

В некоторых случаях помимо гемодинамически значимого порока клапана аорты определялось наличие сопутствующих заболеваний, утяжеляющих состояние пациентов: ишемическая болезнь сердца (2 пациента – 17%), негемодинамически значимый атеросклероз брахиоцефальных артерий (3 пациента – 25%), хронический гастрит, дуоденит (6 пациентов – 50%), ХОБЛ (1 пациент – 8%), сахарный диабет II типа (1 пациент – 8%). Оперативное лечение в этих случаях производилось в стадии ремиссии ХОБЛ, гастрита и дуоденита и при компенсации сахарного диабета. У 2 пациентов в анамнезе была выполнена каротидная эндартерэктомия и у 1 пациента бифуркационное аорто-глубокобедренное шунтирование. Артериальная гипертензия различной степени

определялась у 75% пациентов (9 человек). 1 пациент страдал от пароксизмальной формы фибрилляции предсердий (ФП) и умеренной митральной недостаточности, в связи с чем помимо коррекции порока аортального ему была выполнена радиочастотная абляция (РЧА) устьев легочных вен и пластика митрального клапана опорным кольцом. Распределение пациентов по наличию сопутствующих заболеваний показано в таблице 2.4.

Таблица 2.4 Сопутствующие заболевания пациентов.

Сопутствующие заболевания	Кол-во пациентов	%
Артериальная гипертензия	9	75
Ишемическая болезнь сердца	2	17
Сахарный диабет II типа	1	8
Хронический гастрит и дуоденит	6	60
Хроническая обструктивная болезнь легких	1	8
Атеросклероз брахиоцефальных артерий и артерий нижних конечностей (негемодинамически значимый)	3	25
Пароксизмальная форма фибрилляции предсердий	1	8
Ожирение 2-3 ст.	2	17

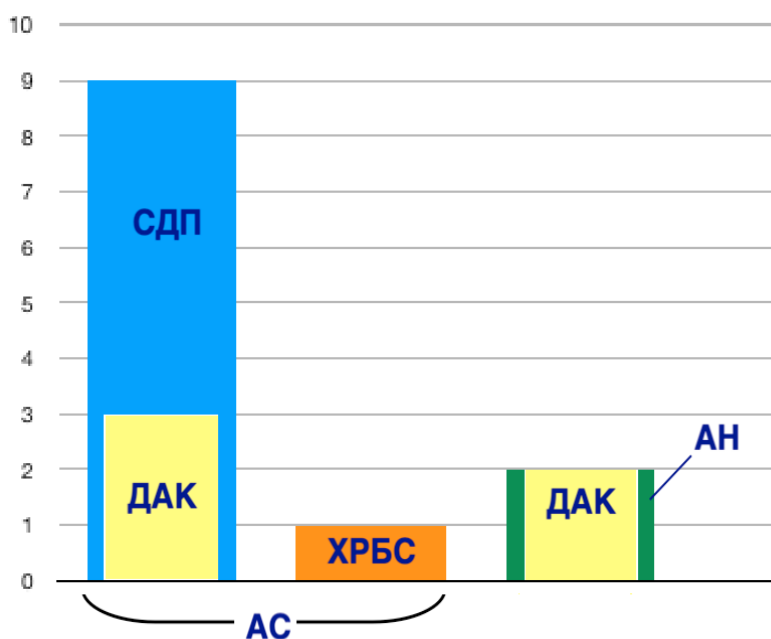
Учитывая вышеуказанную информацию, можно констатировать, что гипертоническая болезнь является достаточно частым коморбидным состоянием при заболеваниях клапана аорты, особенно, когда порок имеет

склеродегенеративную этиологию. На фоне гипертонии ухудшается динамика потока крови, вызывая дополнительное поражение клапана аорты в области наиболее чувствительной к давлению. Дефект эндотелия в этой зоне представляет собой основную точку приложения, где происходит инициация оксидантного стресса и воспалительных процессов, что приводит к прогрессированию порока.

Факторы риска развития кальцинированного аортального стеноза схожи с таковыми для развития атеросклероза, поэтому клапанному поражению часто сопутствуют атеросклеротические изменения в коронарных артериях, клинически проявляющиеся ИБС, а также различными видами нарушений ритма сердца. При выявлении ИБС и гемодинамически значимых стенозов коронарных артерий выполнялась сочетанная операция – коррекция порока клапана аорты и коронарное шунтирование.

Дифференцировка пациентов по этиологии патологического процесса на клапане аорты показала, что наибольшая часть больных с стенозом имела склеродегенеративный характер поражения ($n = 9$), который у 3 пациентов развился на фоне двустворчатой конфигурации клапана аорты. У одного пациента зарегистрирована хроническая ревматическая болезнь сердца. Аортальная недостаточность с расширением корня аорты выявлена у 2 пациентов так же на фоне двустворчатого клапана. Этиологическая структура клапанного поражения представлена на рисунке 2.4.

Показаниями к хирургической коррекции порока являлись тяжелая степень стеноза клапана аорты, выявленная при клиническом обследовании и подтвержденная данными эхокардиографии со средним трансортальным градиентом давления более 40 мм рт.ст., наличием либо отсутствием симптомов сердечной недостаточности, проявляющихся в покое или при проведении стресс-тестов (снижение толерантности к физической нагрузке), а также при наличии сопутствующей систолической дисфункции ЛЖ ($\text{ФИ} < 50\%$).



СДП – склеродегенеративный порок аортального клапана

ХРБС – хроническая ревматическая болезнь сердца

ДАК – двустворчатый аортальный клапан

АН – аортальная недостаточность

АС – аортальный стеноз

Рис. 2.4 Этиологическая структура пороков клапана аорты.

Недостаточность клапана аорты служила показанием к операции в случае тяжелой степени регургитации у симптомных больных вне зависимости от систолической функции ЛЖ, при отсутствии симптомов и наличии систолической дисфункции ЛЖ (ФИ < 50%). Кроме того, хирургическое вмешательство было показано при отсутствии симптомов и нормальной фракции выброса ЛЖ, но при наличии дилатации ЛЖ (конечно-систолический размер ЛЖ > 50 мм). Выполнение некуспидизации по формулам возможно только при отсутствии расширения корня аорты (диаметр на уровне синотубулярного соединения не более 35 мм и диаметр на уровне фиброзного кольца не более 25 мм). В противном случае необходимо выполнить некуспидизацию в сочетании с заменой корня аорты в модификации Moscow (Russian) conduit (Komarov R., 2019).

2.3 Методы обследования пациентов

Для оценки состояния сердечно-сосудистой системы использовался комплексный подход с применением клинических, лабораторных и инструментальных методов исследования.

При поступлении в кардиохирургический стационар пациента опрашивал и осматривал кардиолог. Проводился сбор жалоб, собирался анамнез, выявлялось наличие сопутствующей патологии, осуществлялись осмотр, аускультация сердца и легких, измерение артериального давления по методу Короткова и частоты сердечных сокращений, а так же проводилась антропометрия, включающая измерение длины тела и веса с последующем определением индекса массы тела.

Особое внимание уделялось присутствию у пациента факторов риска сердечно-сосудистых заболеваний - курение, избыточная масса тела, повышение артериального давления, сахарный диабет. Для определения этиологии порока клапана аорты обращали внимание на наличие дисплазии соединительной ткани, ревматических лихорадок в анамнезе, инфекционного эндокардита, системных аутоиммунных заболеваний, сифилиса.

Функциональный класс сердечной недостаточности ранжировался на основании классификации Нью-Йоркской кардиологической ассоциации (NYHA) (Raphael C., 2007). Клинические данные оценивались в динамике на протяжении всего срока госпитализации пациента.

Лабораторные исследования включали: определение общего клинического анализа крови, общего клинического анализа мочи, основных параметров биохимического анализа крови, коагулограммы и анализа крови на инфекции (ВИЧ, гепатит В и С, сифилис).

Всем пациентам проводились следующие инструментальные методы обследования: рентгенография органов грудной клетки, электрокардиограмма в 12 отведениях (ЭКГ), трансторакальная эхокардиография (ЭхоКГ), ЧП ЭхоКГ, селективная коронарография, ультразвуковое исследование органов брюшной полости, а так же ультразвуковая доплерография брахиоцефальных артерий и

артерий нижних конечностей. Кроме этого, в амбулаторных условиях пациентам выполняли фиброгастродуоденоскопию.

Рентгенологическое исследование органов грудной клетки выполнялось на аппарате General Electric Silhouette VR, USA в двух стандартных проекциях: прямой и левой боковой. При пороке клапана аорты рентгенологическое исследование выявляет расширение тени сердца влево - аортальную конфигурацию сердца - за счет гипертрофии миокарда и дилатации полости левого желудочка. При развитии сердечной недостаточности возникает усиление легочного рисунка, расширение корней легких, нечеткость их контура, что соответствует венозному полнокровию малого круга кровообращения и легочной гипертензии. Характерным рентгенографическим признакам стеноза клапана аорты является наличие тени кальцинатов в его проекции. Так же рентгенография органов грудной полости проводилась в раннем послеоперационном периоде для контроля легочно-плевральных осложнений, таких как пневмония, пневмоторакс, гидроторакс, ателектазы легких и несостоятельность швов грудины.

Запись ЭКГ осуществлялась на аппарате Shiller Cardiovit AT-2 (Швейцария) в трех стандартных, трех униполярных отведениях конечностей и шести униполярных грудных отведениях с амплитудой сигнала 10 мм/мВ и скоростью регистрации 25 мм/с. Используя данный метод обследования, проводилась оценка источника сердечного ритма, положения электрической оси сердца, частоты сердечных сокращений, наличия признаков острого или хронического повреждения миокарда, экстрасистол и нарушений внутрисердечной проводимости. ЭКГ выполнялось при госпитализации пациента в стационар, перед инвазивными вмешательствами такими как ангиография коронарных артерий и ЧП ЭхоКГ, а также непосредственно перед операцией и ежедневно в раннем послеоперационном периоде. Постоянная запись ЭКГ проводилась интраоперационно и в отделении реанимации. При наличии патологических переходящих изменений ритма сердца проводилось суточное мониторирование ЭКГ по Холтеру на аппарате Shiller MT 101, Switzerland.

Пациентам старше 40 лет, то есть 10 пациентам, включенным в данное исследование, до операции выполняли селективную коронарографию в разных проекциях с помощью специальной ангиографической аппаратуры General Electric Innova 2100-IQ французской фирмы GE Medical System. Селективная ангиография коронарных артерий является обязательным методом диагностики, необходимым для решения вопроса о выполнении сочетанной операции: коррекции порока клапана аорты и реваскуляризации миокарда. Доступ к лучевой или бедренной артерии осуществлялся под местной анестезией. Затем вводился проводник, по которому ретроградно в аорту устанавливался катетер. Последовательно контрастировали восходящую аорту, устья левой и правой коронарных артерий. Использовали рентгенконтрастное неионное йодсодержащее средство Visipaque в объеме 4-5 мл со скоростью 2-3 мл/с. Результаты коронарографии позволяли судить о типе коронарного кровообращения, наличие либо отсутствии атеросклеротических бляшек в просвете коронарных артерий, степени стеноза. Наличие гемодинамически значимых стенозов (более 70% и более 50% для ствола левой коронарной артерии) и сохранность дистального русла служили показанием к выполнению коронарного шунтирования. У 2 пациентов, включенных в исследование, выявлено мультифокальное атеросклеротическое поражение сосудов сердца, потребовавшее проведения операции коронарного шунтирования.

В диагностике пороков клапана аорты ведущая роль принадлежит методу эхокардиографии. Трансторакальная ЭхоКГ по стандартному протоколу проводилась всем пациентам в пред- и послеоперационном периоде на аппарате ультразвуковой диагностики Philips CX 50, USA. Технические трудности визуализации определенных структур сердца, возникающие при трансторакальном исследовании, диктовали необходимость выполнения ЧП ЭхоКГ с применением специального транспищеводного ультразвукового датчика. В обязательном порядке ЧП ЭхоКГ проводилась всем пациентам интраоперационно для оценки работы нео-клапана после отключения аппарата искусственного кровообращения. Исследование выполнялось в основных

ультразвуковых режимах: В – режим (серой шкалы), М – режим и доплеровских режимах, таких как режим цветового доплеровского кодирования, импульсно-волновой доплер.

При выполнении эхокардиографического исследования проводилась последовательная оценка основных структур сердца, их размеров и степень их функционирования в стандартных сечениях: парастеральная позиция – длинная ось, парастеральная позиция – короткая ось, четырехкамерная апикальная позиция, двухкамерная апикальная позиция, пятикамерная апикальная позиция, субкостальная позиция, супрастерная позиция и правая парастерная позиция на правом боку.

Визуализировались и оценивались следующие размеры камер и стенок сердца: размер и объем правого и левого предсердий, размер правого желудочка, толщина межжелудочковой перегородки (ТМЖП) и задней стенки левого желудочка (ТЗСЛЖ).

Функциональное состояние левого и правого желудочков оценивалось по следующим показателям: конечно-диастолический объем желудочка (КДО), конечно-систолический объем желудочка (КСО). Используя эти два значения, измеренные в четырехкамерной позиции, можно вычислить ударный объем (УО) по формуле: $КДО - КСО$ (мл) и фракцию выброса (ФВ) по Симпсону: $УО/КДО \times 100\%$. Измерялся конечно-диастолический размер (КДР) - диаметр полости левого желудочка в диастолу на уровне базальных отделов левого желудочка и конечно-систолический размер (КСР) - аналогичный диаметр в систолу и, при необходимости, вычислялась фракция изгнания по Тейхольцу. Производилась оценка наличия зон нарушения локальной сократимости: гипокинезии, акинезии, дискинезии. Диастолическая функция левого желудочка измерялась в режиме импульсно-волнового доплера посредством трансмитрального потока.

Клапанный аппарат сердца оценивался последовательно в обязательном порядке. Анализировалось состояние клапана аорты, митрального, трикуспидального и легочного клапанов. В режиме серой шкалы хорошо визуализировались створки клапанов, их количество, толщина, подвижность,

степень расхождения, наличие кальциноза, пролапса и дополнительных образований. Было возможно измерить диаметр фиброзного кольца, площадь эффективного отверстия и состояние подклапанных структур. Допплеровские режимы применялись для оценки функции клапанов. По таким показателям как пиковый и средний трансклапанные градиенты давления, скорость кровотока на клапане, объем струи регургитации судили о наличии и степени стеноза или недостаточности. По скорости трикуспидального систолического потока регургитации оценивалось систолическое давление в легочной артерии (СДЛА).

Более детально изучалась эхографическая анатомия клапана аорты и корня аорты. Данные структуры визуализируются практически во всех стандартных эхокардиографических сечениях. В парастеральной позиции по короткой оси клапан можно наблюдать анфас, благодаря чему в диастолу, когда клапан закрыт, линии смыкания его створок образуют характерную фигуру, напоминающую фирменный знак автомобильного концерна «Mercedes Benz» (рис. 2.5) (Райдинг Э., 2010).

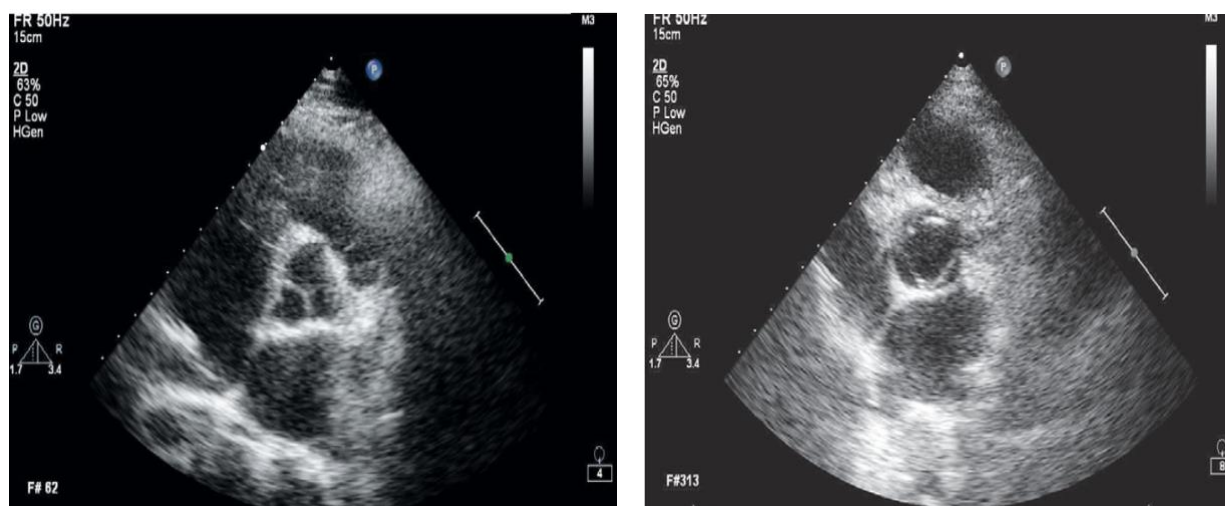


Рис. 2.5 ЭХО-изображение из парастерального доступа по короткой оси на уровне аортального клапана: слева - В-режим, полное смыкание створок; справа - В-режим, полное раскрытие створок.

В парастеральном сечении по длинной оси левого желудочка в диастолу хорошо визуализируется корень аорты и центральная линия смыкания створок

(рис. 2.6). Основные измерения корня аорты проводили именно в этом сечении. Диаметр кольца клапана аорты оценивался на уровне основания его створок, в точке соединения аорты с МЖП и основанием митрального клапана. Диаметр на уровне синусов Вальсальвы – линия, соединяющая наиболее отдаленные точки синусов. Диаметр на уровне синотубулярного соединения определялся в области комиссур клапана аорты. Так же измерялся диаметр восходящей аорты на 3 см выше синотубулярного соединения.

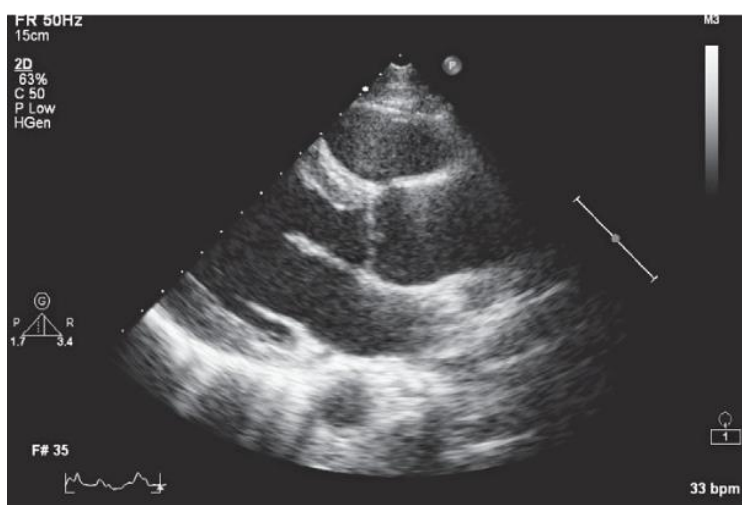


Рис. 2.6 ЭХО - изображение из парастернального доступа по длинной оси левого желудочка.

Кровоток через клапан аорты оценивали в апикальном пятикамерном сечении с помощью цветового доплеровского картирования и постоянно-волнового доплера, курсор которого устанавливался по направлению потока крови.

Согласно рекомендациям Европейского общества кардиологов и Европейской ассоциации кардио-торакальных хирургов порок клапана аорты необходимо подвергать хирургической коррекции при наличии эхокардиографических признаков тяжелого стеноза (скорость кровотока на клапане более 400 см/с, средний градиент на клапане более 40 мм.рт.ст., эффективная площадь отверстия менее 1 см², индекс эффективной площади отверстия менее 0,6 см²/м²) и/или наличия тяжелой регургитации (3-4 степень

недостаточности, центральная регургитация более 65% площади полости левого желудочка, *vena contracta* более 0,6 см, объем регургитации более 60 мл/сокращение).

2.4 Статистический анализ

Информация, полученная при морфометрии, послужила материалом для создания компьютерной базы данных. Характеристики выборки и морфометрические параметры клапана анализировались с использованием описательной статистики. Для всех количественных переменных рассчитывали среднее арифметическое значение (M), стандартное отклонение (SD). Сравнения групп выполнены с помощью одностороннего дисперсионного анализа для непрерывных данных и с помощью анализа Крускала-Уоллиса. Принимая во внимание то, что некоторые данные являются непараметрическими, параметрические тесты использовались для дополнительного анализа из-за достаточно большого размера выборки и распределения близкого к нормальному.

Взаимоотношения между антропометрическими параметрами, размерами клапана аорты и его створок были протестированы с использованием коэффициента корреляции Пирсона. Независимые простые линейные регрессионные анализы использовались для проверки зависимости следующих размеров створок - длины свободного края, длины прикрепления створки, высоты створки и межкомиссурального расстояния. Данные были проверены на отсутствие (т. е. отсутствующие данные) и нарушения предположения до анализа.

Для выявления значимых корреляций использовали пороговое значение коэффициента корреляции Пирсона $r > 0,6$, при $p < 0.01$. Независимый t -тест использовался для сравнения экспериментально полученных данных и прогнозируемых их значений для L1, L2 и A.

Во второй части исследования информация была получена при анализе историй болезни пациентов, которые послужили материалом для создания электронной базы данных.

Сформированная группа пациентов были проверена на нормальность распределения показателей с помощью теста Колмогорова-Смирнова. При нормальном распределении определяли среднее значение и стандартное отклонение. При распределении, отличающемся от нормального, данные представлялись в виде медианы, первой и третьей квартиль.

Все демографические и клинические характеристики, а также операционные данные пациентов обобщены с помощью описательной статистики. Для анализа двух независимых выборок и оценки эффективности оперативного лечения был использован критерий Вилкоксона. Значения p менее 0.05 считались статистически значимыми.

Все анализы проводились с использованием программного обеспечения IBM SPSS STATISTICS17.0 (SPSS, Inc., Чикаго, Иллинойс, США) и Microsoft Excel.

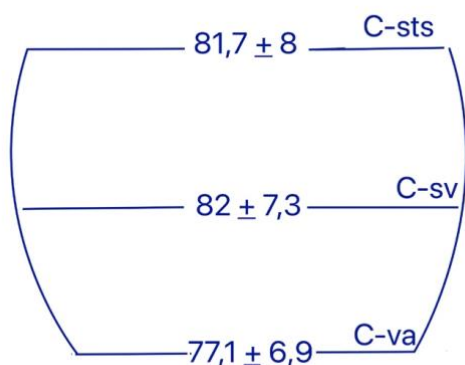
ГЛАВА 3. АНАТОМИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ ПОЛУЧЕННЫХ РАСЧЕТОВ ПО РЕКОНСТРУКЦИИ КЛАПАНА АОРТЫ

3.1 Результаты морфометрического исследования корня аорты

Нами сделано предположение о том, что параметры створок непораженного клапана аорты, т.е. в норме, будут иметь значительную корреляцию с другими измеряемыми размерами клапана, отражающими их морфологическую взаимосвязь. Если эти соотношения значимы, то параметры, необходимые для реконструкции створок, могут быть получены из измеряемых значений, которые возможно получить пре- или интраоперационно.

Определение этих взаимоотношений в нормальном клапане позволит сформулировать объективный метод реконструкции створок в аномальном клапане, тем самым уменьшая зависящую от оператора изменчивость. Кроме того, поскольку такой подход приведет к созданию клапана, который по своим размерам больше соответствует нормальному клапану, это приведет к улучшению функции клапана после реконструкции.

Средние размеры корня аорты на разных уровнях представлены на рисунке 2. По полученным нами результатам морфометрии корня аорты: наименьшее значение свойственно длине окружности вентрикуло-аортального соединения – $77,1 \pm 6,9$ мм. Длина окружности на уровне синотубулярного соединения составила $81,7 \pm 8$ мм, а на уровне синусов Вальсальвы $82,0 \pm 7,3$ мм. Если, используя формулу $C = \pi d$, вычислить диаметр на трех уровнях по известному значению длины окружности, то наши данные согласуются с имеющимися данными литературы о том, что диаметр СТС является большим по отношению к диаметру ВА на 10-20%.



C-va – вентрикуло-аортальное соединение;

C-sv – синусы Вальсальвы;

C-sts - синотубулярное соединение.

Рис. 3.1 Средние размеры длины окружности аорты на 3 уровнях.

Для каждой из створок получены следующие результаты.

Для НКС:

- 1) длина свободного края НКС варьировалась от 25 мм до 46 мм (среднее $35,9 \pm 4,9$ мм; медиана 35,0);
- 2) длина прикрепления НКС составила от 36 мм до 65 мм (среднее $50,2 \pm 6,1$ мм; медиана 48,0);
- 3) высота створки НКС ранжировалась от 16 мм до 26 мм (среднее $19,2 \pm 2,3$ мм; медиана 21,0);
- 4) межкомиссуральное расстояние у НКС было от 19 мм до 40 мм (среднее $28,4 \pm 4,2$ мм; медиана 28,0).

Для ПКС:

- 1) L1 от 27 мм до 50 мм (среднее $36,4 \pm 5,5$ мм; медиана 36,0);
- 2) L2 от 40 мм до 65 мм (среднее $49,9 \pm 6,4$ мм; медиана 50,0);
- 3) A от 15 мм до 23 мм (среднее $19,5 \pm 1,7$ мм; медиана 20,0);
- 4) IC от 20 мм до 36 мм (среднее $28,9 \pm 3,7$ мм; медиана 30,0).

Для ЛКС:

- 1) L1 от 27 мм до 46 мм (среднее $35,1 \pm 4,9$ мм; медиана 34,0);
- 2) L2 от 40 мм до 60 мм (среднее $47,4 \pm 4,9$ мм; медиана 46,0);

- 3) А от 15 мм до 24 мм (среднее $19,5 \pm 1,9$ мм; медиана 19,0);
 4) IC от 23 мм до 36 мм (среднее $27,8 \pm 3,4$ мм; медиана 27,0).

Средние значения полученных данных для каждой створки в отдельности с поправкой на стандартное отклонение представлены в таблице 3.1.

Таблица 3.1 Размеры створок клапана аорты человека ($M \pm \sigma$).

Измеряемые параметры	Некоронарная створка	Правая коронарная створка	Левая коронарная створка	Среднее значение
Межкомиссуральное расстояние (IC), мм	$28,44 \pm 4,17$	$28,93 \pm 3,72$	$27,81 \pm 3,39$	$28,4 \pm 3,92$
Длина свободного края (L1), мм	$35,87 \pm 4,91$	$36,44 \pm 5,46$	$35,09 \pm 4,85$	$35,8 \pm 5,22$
Длина прикрепления (L2), мм	$50,15 \pm 6,13$	$49,91 \pm 6,36$	$47,83 \pm 4,88$	$49,16 \pm 6,09$
Высота створки (А), мм	$19,24 \pm 2,32$	$19,46 \pm 1,72$	$19,48 \pm 1,89$	$19,39 \pm 0,63$

Исходя из вышеуказанных средних результатов, левая коронарная створка отличается наименьшей величиной длины свободного края и длины прикрепления створки. Высота ЛКС является максимальной по сравнению с ПКС и НКС, но различия в высоте между створками минимальны (до 0,2 мм), что с практической точки зрения характеризует левую коронарную створку как наименьшую.

Протестировав эти результаты с помощью однофакторного дисперсионного анализа с использованием критерия Н Краскала – Уолисса, нами не было выявлено статистически значимых межгрупповых различий между створками. Для всех размеров створок значение составило $p > 0.05$ (межкомиссуральное расстояние $p = 0,083$; высота комиссуры $p = 0.059$; длина свободного края $p = 0.331$; длина прикрепления $p = 0.056$; высота створки $p = 0.518$).

3.2 Результаты корреляционно-регрессионного анализа размерных характеристик для каждой из створок клапана аорты

Корреляции между межкомиссуральным расстоянием (IC), длиной свободного края листовки (L1), длиной прикрепления створки к фиброзному кольцу (L2) и высотой створки (A) и всеми другими измеренными параметрами показаны в таблице 3.2.

Таблица 3.2 Коэффициент корреляции Пирсона между различными размерами клапана аорты.

	C-sts	C-va	IC нкс/пкс/лкс	L2 нкс/пкс/лкс	A нкс/пкс/лкс	H нкс/пкс/лкс
L1 нкс	0,73	0,69	0,78	0,84	0,51	0,67
L1 пкс	0,65	0,45	0,77	0,90	0,51	0,56
L1 лкс	0,80	0,69	0,78	0,76	0,47	0,63
			IC нкс/пкс/лкс	L1 нкс/пкс/лкс	A нкс/пкс/лкс	H нкс/пкс/лкс
L2 нкс	0,72	0,70	0,72	0,84	0,57	0,76
L2 пкс	0,69	0,51	0,76	0,90	0,43	0,59
L2 лкс	0,63	0,72	0,65	0,76	0,43	0,65
			IC нкс/пкс/лкс	L1 нкс/пкс/лкс	L2 нкс/пкс/лкс	H нкс/пкс/лкс
A нкс	0,55	0,50	0,66	0,51	0,57	0,68
A пкс	0,58	0,41	0,62	0,51	0,43	0,50
A лкс	0,70	0,51	0,61	0,47	0,43	0,56

P = 0.000 для всех корреляций

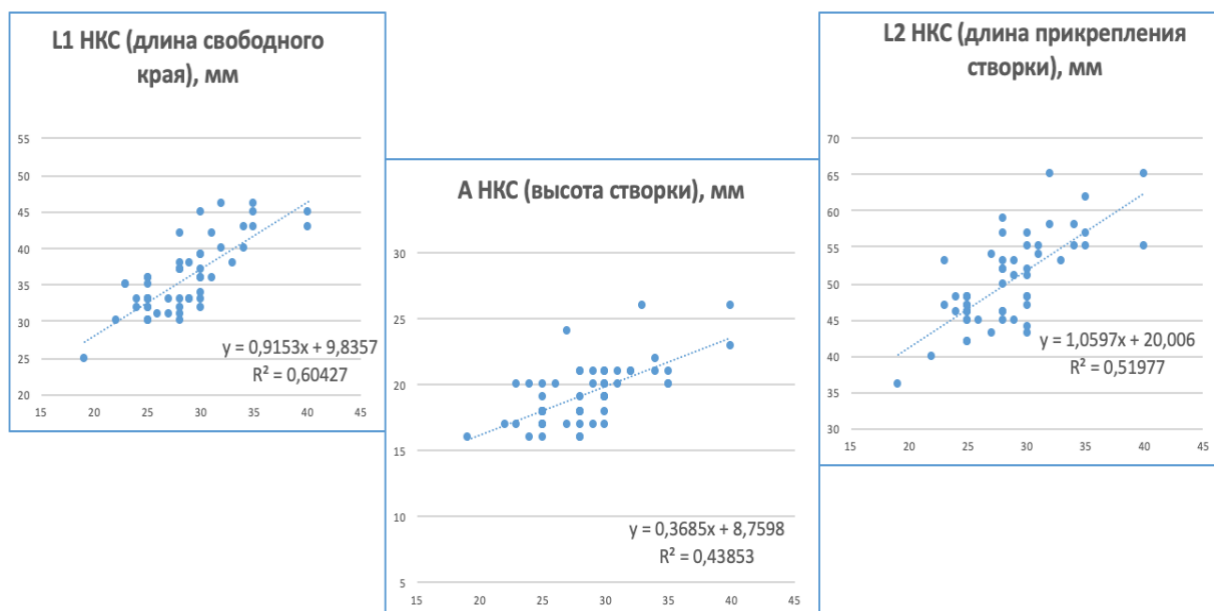
Параметр L1 показал наиболее сильную корреляционную связь с межкомиссуральным расстоянием: $r > 0,7$ ($r = 0,78$ при $p = 0,000$ для L1- IC НКС и ЛКС и $r = 0,77$ при $p = 0,000$ для L1 – IC ПКС).

Параметр L2 и также показал сильную корреляцию с IC $r > 0,65$ ($r = 0,72$ при $p = 0.000$ для L2 - IC НКС; $r = 0,76$ при $p = 0.000$ для L2 - IC ПКС; $r = 0,65$ при $p = 0,000$ для L2 - IC ЛКС).

Высота створки A имела сильную, но более низкую силу корреляции с межкомиссурным расстоянием, $r > 0,6$ ($r = 0,66$ при $p = 0.000$ для A - IC НКС; $r = 0,62$ при $p = 0.000$ для A - IC ПКС; $r = 0,61$ при $p = 0.000$ для A - IC ЛКС). Так же отмечено наличие сильной корреляционной связи между параметрами L1 и L2 для всех створок клапана аорты $r > 0,7$ (диапазон от 0,76 до 0,90, $p = 0.000$).

Репрезентативные диаграммы рассеяния с линией регрессии и доверительными интервалами показывают положительную линейную зависимость между межкомиссуральным расстоянием и длиной свободного края, длиной прикрепления створки и высотой створки для некоронарной, правой коронарной и левой коронарной створками (рис. 3.2, рис. 3.3, рис. 3.4 соответственно).

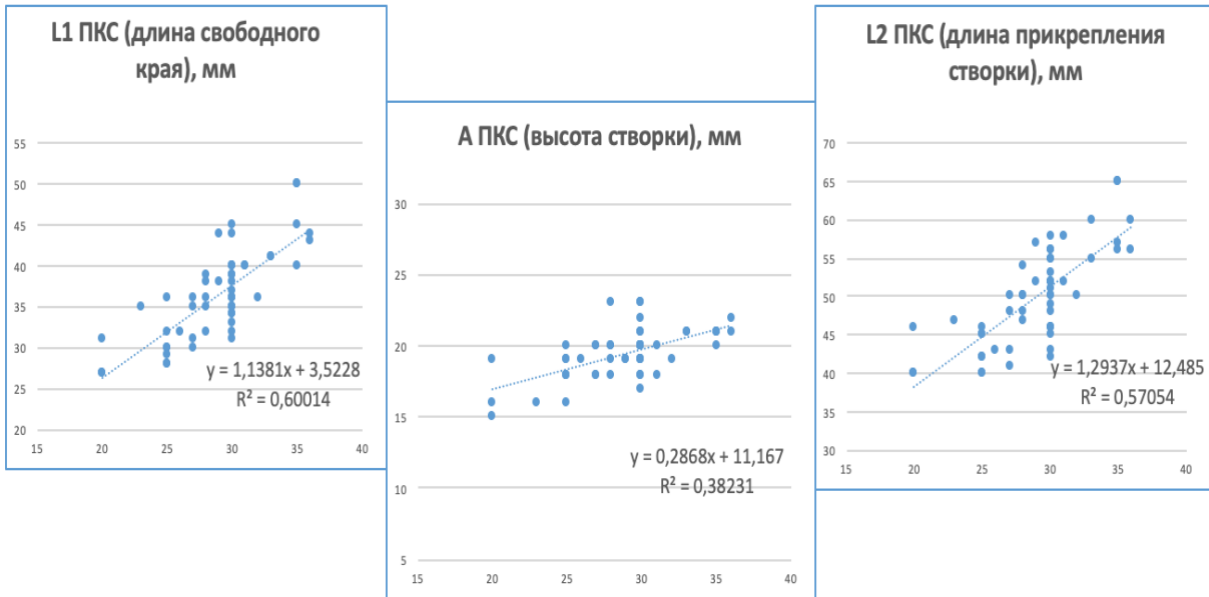
Репрезентативные графики, показывающие результаты регрессионного анализа зависимости L1, L2, A от IC НКС



$P = 0.000$ для всех корреляций

Рис. 3.2.

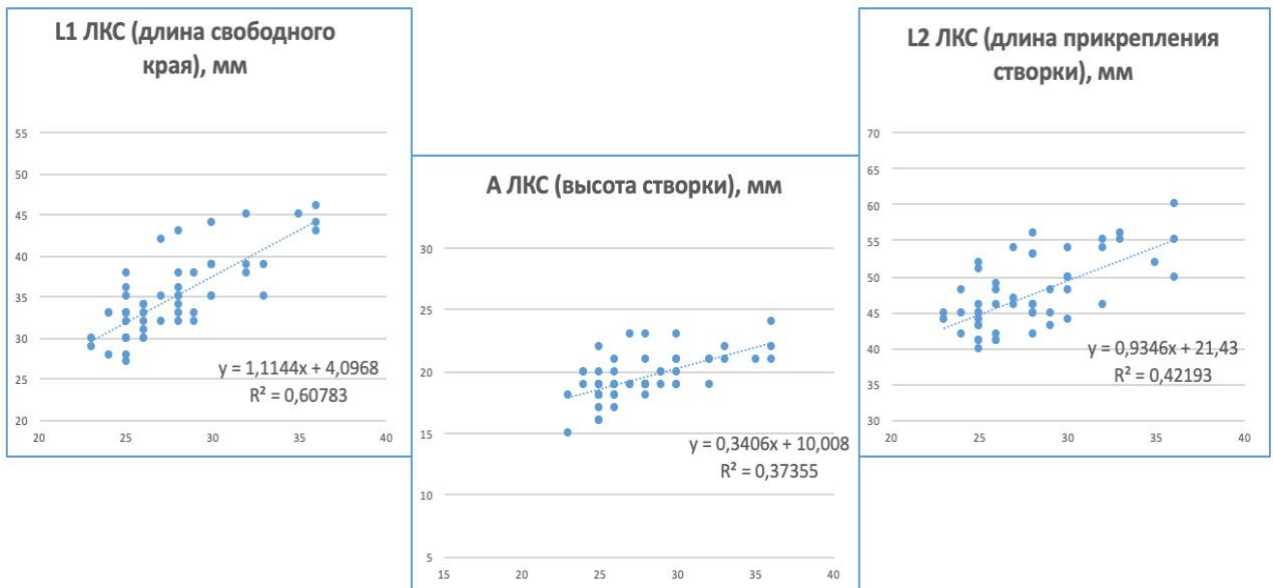
Репрезентативные графики, показывающие результаты регрессионного анализа зависимости L1, L2, А от IC ПКС



$P = 0.000$ для всех корреляций

Рис. 3.3.

Репрезентативные графики, показывающие результаты регрессионного анализа зависимости L1, L2, А от IC ЛКС



$P = 0.000$ для всех корреляций

Рис. 3.4.

3.3 Результаты корреляционно-регрессионного анализа размерных характеристик клапана аорты в целом

По данным некоторых исследований, в том числе и Ozaki, симметричный трехстворчатый аортальный клапан имеет более анатомически правильную конфигурацию и отличается лучшими гемодинамическими характеристиками (Rankin J.S., 2008; Ozaki S., 2018). Как указано выше, мы протестировали размеры правой коронарной, левой коронарной и некоронарной створок на наличие межгруппового неравенства, в процессе которого статистически значимых различий между размерами трех створок не выявлено.

В связи с отсутствием межгрупповых различий данные по некоронарной, правой и левой коронарной створки можно объединить в одну группу, увеличив число наблюдений с 54 до 162 единиц. Причем, теперь не клапан, а створку следует рассматривать как единицу наблюдения. С целью получения универсального уравнения зависимости, подходящего для определения параметров, был проведен корреляционно-регрессионный анализ на основании объединенных данных всех створок клапанов аорты.

Первым этапом выполнено сопоставление различных параметров створок клапана аорты с антропометрическими характеристиками, полученными на кадаверном материале, такими как рост, вес, индекс массы тела, площадь поверхности тела, возраст, длина окружности кольца, длина окружности на уровне синусов Вальсальвы и длина окружности на уровне синотубулярного соединения клапана аорты (табл. 3.3).

Значимые корреляции выявлены между всеми размерами створок клапана аорты и длиной окружности его кольца на уровне вентрикуло-аортального соединения, длиной окружности на уровне синусов Вальсальвы, а так же длиной окружности на уровне синотубулярного соединения ($r = 0,697$ для IC, $r = 0,32$ для L1, $r = 0,671$ для L2 и $r = 0,556$ для A при $p < 0.01$; $r = 0,731$ для IC, $r = 0,625$ для L1, $r = 0,716$ для L2 и $r = 0,580$ для A при $p < 0.01$; $r = 0,793$ для IC, $r = 0,673$ для L1, $r = 0,72$ для L2 и $r = 0,591$ для A при $p < 0.01$ соответственно).

Значимая, но более слабая корреляционная связь выявлена между всеми

размерами створок и ростом пациентов ($r = 0,365$ для IC при $p < 0.01$, $r = 0,32$ для L1 при $p < 0.05$, $r = 0,397$ для L2 и $r = 0,404$ для A при $p < 0.01$).

Таблица 3.3 Коэффициент корреляции Пирсона между размерами створок, корня аорты и характеристиками индивидуума.

Антропометрические данные и параметры корня аорты	Коэффициент корреляции Пирсона							
	IC	p	L1	p	L2	p	A	p
Возраст	0,099	0,476	0,059	0,672	0,028	0,842	0,129	0,351
Рост	,356**	0,008	,320*	0,018	,397**	0,003	,404**	0,002
Вес	0,094	0,497	0,178	0,198	0,264	0,054	0,144	0,299
ППТ	0,188	0,174	0,240	0,081	,338*	0,012	0,247	0,072
ИМТ	0,118	0,398	0,208	0,134	0,228	0,100	0,056	0,693
C-va	,697**	0,000	,671**	0,000	,726**	0,000	,556**	0,000
C-sv	,731**	0,000	,625**	0,000	,716**	0,000	,580**	0,000
C-sts	,793**	0,000	,673**	0,000	,720**	0,000	,591**	0,000

** . Корреляция значима на уровне 0,01 (двухсторонняя).

* . Корреляция значима на уровне 0,05 (двухсторонняя).

Коэффициенты корреляции между межкомиссуральным расстоянием и длиной свободного края створки, а так же межкомиссуральным расстоянием и длиной прикрепления створки были высокими и составили $r = 0,78$ и $r = 0,71$ при $p < 0.001$ соответственно. Корреляция между межкомиссуральным расстоянием и высотой створки была значима, но чуть менее высокая и составила $r = 0,63$ при $p < 0.001$. Выполнено построение линий регрессии для трех зависимостей (рис. 3.5, рис. 3.6, рис. 3.7). В ходе исследования получены ключевые универсальные уравнения для выявления размеров створок при известном межкомиссуральном расстоянии.

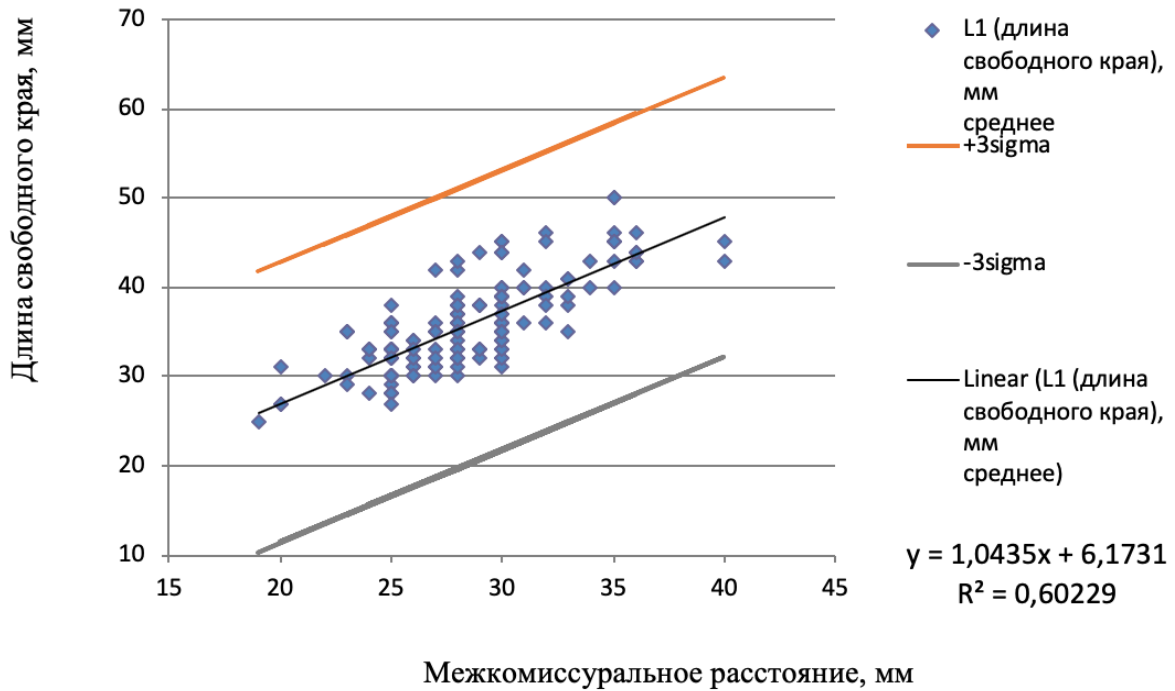


Рис. 3.5 Репрезентативный график, показывающий результаты регрессионного анализа зависимости L1 от IC.

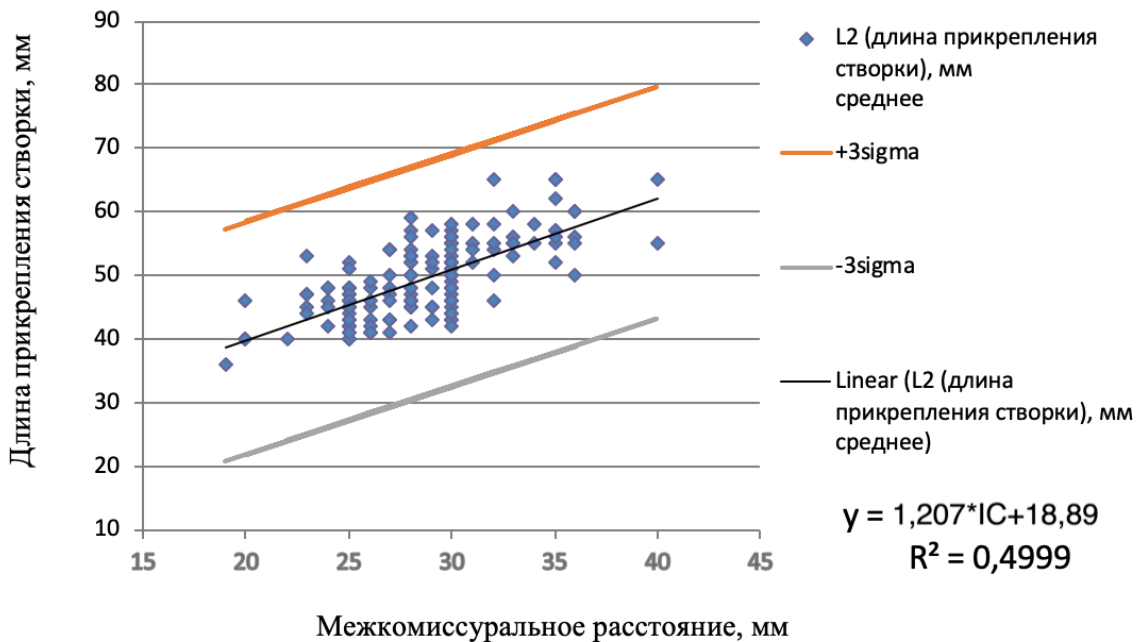


Рис. 3.6 Репрезентативный график, показывающий результаты регрессионного анализа зависимости L2 от IC.

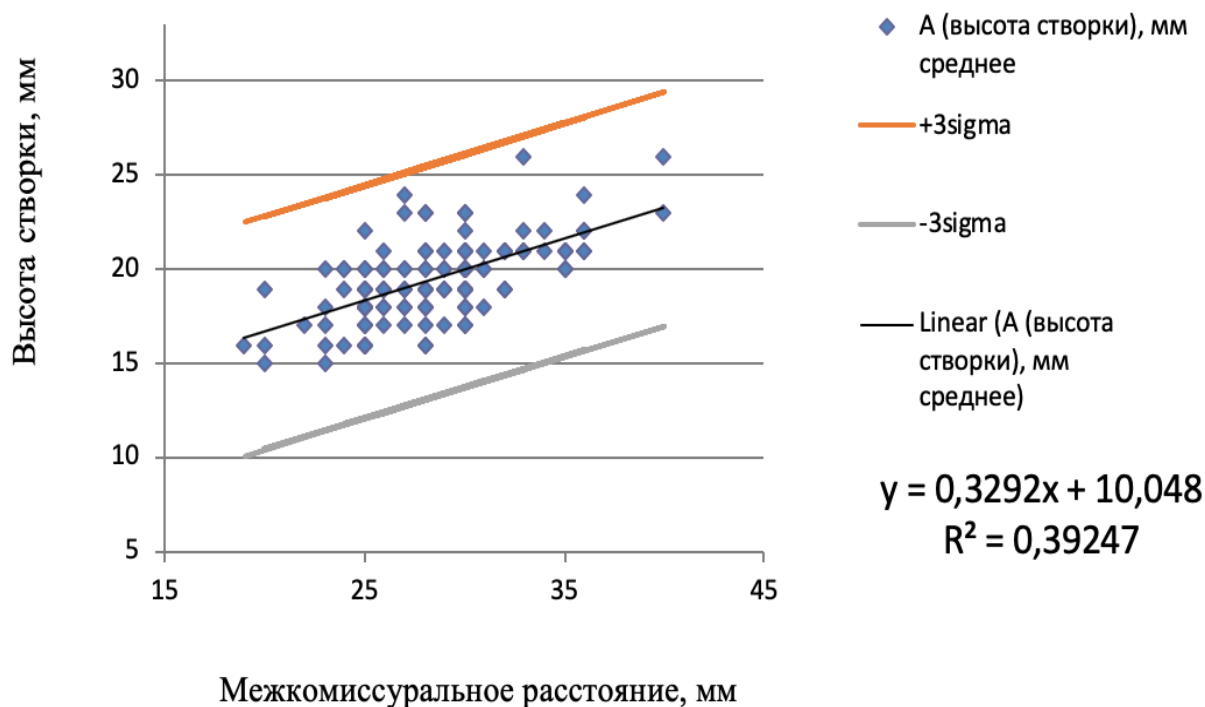


Рис. 3.7 Репрезентативный график, показывающий результаты регрессионного анализа зависимости А от IC.

Значение R^2 , коэффициента детерминации, в первом случае составляет 0,6023. Это значит, что приблизительно 60% переменных L1 было предсказано из IC. В случае определения L2 от IC коэффициент детерминации составил 0,4990, а в случае определения А от IC - 0,39247, что означает что около 50% переменных L2 и около 40% переменных А было предсказано из IC.

Измеренные значения L1, L2 и А для данного значения IC сравнивались со значениями L1, L2 и А, предсказанными по IC, с использованием уравнений регрессии. Не было отмечено значительных различий между измеренными и прогнозируемыми значениями (табл. 3.4).

Таблица 3.4 Статистическое сравнение измеренных и полученных размеров створок клапана аорты.

N=162	Измеренное L1	Полученное L1 из IC	Измеренное L2	Полученное L2 из IC	Измеренное A	Полученное A из IC
Среднее	35,8	35,7	49,2	49,3	19,4	19,4
Стандартное отклонение	5,2	4,1	6,1	4,2	0,6	1,3
Стандартная ошибка	0,4	0,3	0,5	0,3	0,2	0,1

Таким образом, получены три универсальные формулы для вычисления следующих размеров створок аортального клапана:

$$\text{Длины свободного края } L1 = 1,04 * IC + 6,17 \quad (1)$$

$$\text{Длины прикрепления } L2 = 1,21 * IC + 18,9 \quad (2)$$

$$\text{Высоты створки } A = 0,33 * IC + 10,05 \quad (3)$$

Данные уравнения возможно применять при наличии изолированной патологии створок и заменить только пораженную, а так же при необходимости выполнения полной замены створок клапана аорты. В первом случае достаточно измерить межкомиссуральное расстояние и по полученным в нашем исследовании уравнениям вычислить остальные параметры створки. Во втором случае при сохраненных комиссурах, так же измерив межкомиссуральное расстояние каждой створки, возможно выполнить неокуспидизацию по сохраненным комиссурам.

При отсутствии возможности измерения межкомиссурального расстояния или необходимости сформировать новые комиссуры (например, при наличии двустворчатого клапана и желании изготовить трехстворчатый клапан) достаточно будет измерить диаметр синотубулярного соединения. Далее

необходимо использовать формулу для вычисления длины окружности при известном диаметре:

$$C = \pi d \quad (4),$$

где C – длина окружности синотубулярного соединения; d – диаметр окружности на уровне синотубулярного соединения.

Для формирования трехстворчатого симметричного клапана необходимо получить значение одного межкомиссурального расстояния:

$$IC = C/3 = \pi d/3 \quad (5),$$

где C – длина окружности синотубулярного соединения; d – диаметр окружности на уровне синотубулярного соединения, IC – межкомиссуральное расстояние.

Затем используя полученное в нашем исследовании уравнение (1) и известное межкомиссуральное расстояние рассчитать длину свободного края створки, используя уравнение (2) – длину линии прикрепления створки и используя уравнение (3) – высоту створки.

3.4 Характеристика линии, соответствующей длине прикрепления створки

Исходя из данных морфометрического исследования нами было сделано предположение, что линия, соответствующая длине прикрепления створки по форме представляет собой симметричный параболический сегмент, который определяется уравнением:

$$y = s * x^2,$$

где y – ордината, x – абсцисса и s – коэффициент, соответствующий отношению высоты створки к половине длины свободного края в квадрате ($s = A/(0,5 * L1)^2$) (Parabolic Segment Calculator, 2020).

Для проверки достоверности полученной нами формулы для $L2$ и соответствия значения $L2$ длине параболического сегмента, найденного по известной высоте створки и длине свободного края нами был проведен комплексный математический анализ.

Подставив значение s в исходное уравнение, мы получили формулу:

$$y = A / (0,5 * L1)^2 * x^2.$$

Учитывая полученную ранее зависимость A и $L1$ от IC , уравнение преобразуется в следующий вид:

$$y = (0,33 * IC + 10,05 / (0,5 * (1,04 * IC + 6,17)))^2 * x^2$$

и соответствует следующим графическим изображениям симметричного параболического сегмента для минимального значения IC (рис. 3.8), среднего значения IC (рис. 3.9) и максимального значения IC (рис. 3.10).

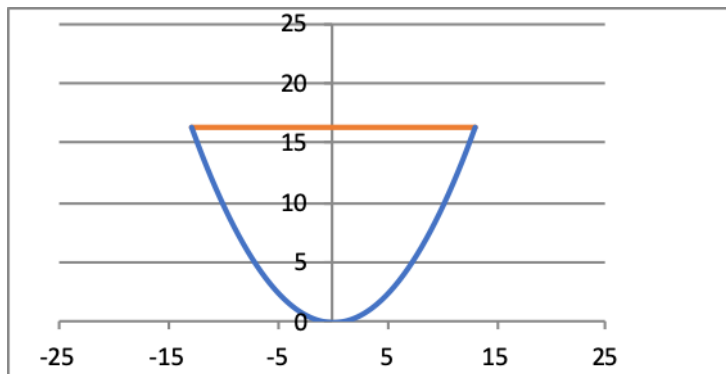


Рис. 3.8 Графическое изображение параболического сегмента, соответствующего минимальному значению IC .

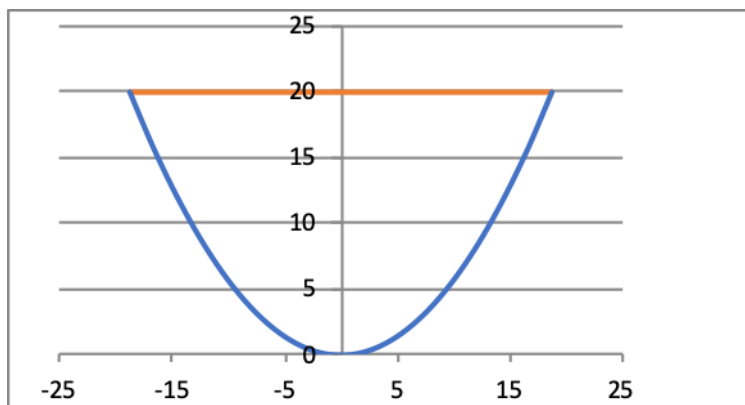


Рис. 3.9 Графическое изображение параболического сегмента, соответствующего среднему значению IC .

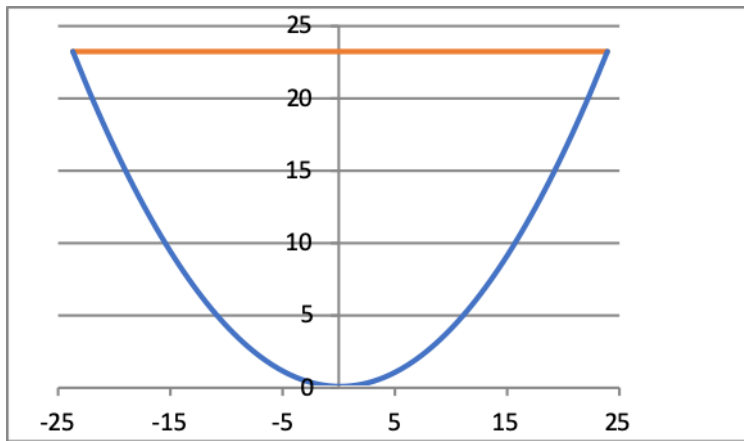


Рис. 3.10 Графическое изображение параболического сегмента, соответствующего максимальному значению ИС.

Для данного уравнения была вычислена длина дуги параболического сегмента (фактически L2) по формуле:

$$L = a \cdot \sqrt{1 + 4s^2 a^2} + \ln(2sa + \sqrt{1 + 4s^2 a^2}) / (2s)$$

(Parabolic Segment Calculator, 2020).

Посчитанная длина дуги параболического сегмента практически совпала с L2 измеренным (табл. 3.5).

Таблица 3.5 Соответствия значений посчитанной и измеренной L2.

ИС	Измеренная L2	Полученная L2
20	43,0	44,8
21	44,3	46,1
22	45,5	47,3
23	46,7	48,5
24	47,9	49,8
25	49,1	51,0
26	50,3	52,2
27	51,5	53,5

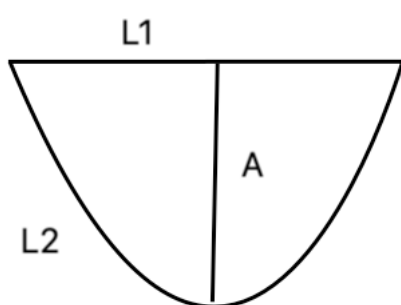
Таким образом, полученные данные подтверждает нашу гипотезу о том, что по форме L2 – является параболическим сегментом и может быть изображена соответственно.

3.5 Способ изготовления шаблона (лекала) для неокуспидизации

Шаг 1. Нарисовать на поверхности аутоперикарда (ксеноперикарда) по линейке линию длиной соответствующей значению длины свободного края створки, отметить середину и провести перпендикуляр от центра полученной линии размером соответствующим высоте створки (рис. 3.11).

Шаг 2. Используя нерастяжимую нить или любой гибкий нерастяжимый материал, отмерить длину прикрепления створки по линейке, изогнуть полученный отрезок, приложив его края к концам линии, соответствующей длине свободного края створки а центр к нижнему краю отрезка, соответствующего высоте створки.

Шаг 3. Обвести контур полученной линии и, таким образом, получить контуры неостворки.



L1 – длина свободного края створки;

L2 – длина линии прикрепления створки;

A – высота створки.

Рис. 3.11 Схема неостворки.

Шаг 4. Пунктирными линиями добавить к границам створки по 3 мм с тех сторон, которые будет крепиться к аорте (поправка на шов) и 3 мм к высоте створки для исключения возможной центральной регургитации в последующем (рис.3.12).

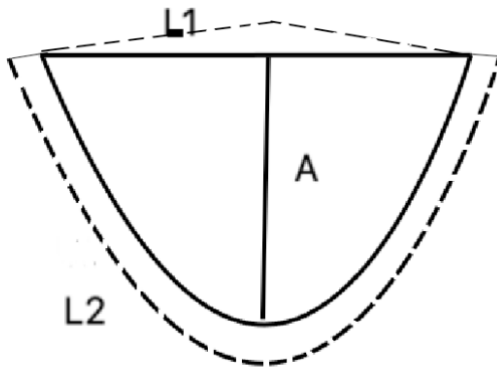


Рис. 3.12 Схема неостворки с поправкой на шов.

Шаг 5. Изготовить еще два подобных шаблона и вырезать по пунктирным контурам. Таким образом, получаются 3 равные по размерам неостворки.

ГЛАВА 4. ТЕХНИКА ВЫПОЛНЕНИЯ И РЕЗУЛЬТАТЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ПРЕДЛОЖЕННОГО СПОСОБА И РЕКОМЕНДАЦИЙ ПО РЕКОНСТРУКЦИИ КЛАПАНА АОРТЫ

4.1 Характеристика хирургического вмешательства

Все операции выполняли по стандартной методике в условиях комбинированного эндотрахеального наркоза, искусственного кровообращения и фармакохолодовой кардиopleгии.

Доступ к сердцу осуществлялся через срединную стернотомию. Затем выполнялся забор перикардального лоскута размером не менее 7 x 8 см, производилась очистка данного лоскута от жира и других избыточных тканей и выполнялась фиксация аутоперикарда в 0,6% растворе глутарового альдегида с буфером в течение 8 минут. Обработанный перикард промывали 3 раза физиологическим раствором в течение 6 минут.

Подключение аппарата искусственного кровообращения проводили стандартно по схеме «правое предсердие — восходящая аорта», дренаж левого желудочка через правую верхнюю легочную вену.

Все пациенты оперировались в условиях нормотермии. Защиту миокарда во время пережатия аорты осуществляли методом фармакохолодовой кардиopleгии с использованием раствора Кустодиол. Кардиopleгический раствор доставляли антеградно селективно в устья коронарных артерий.

Далее последовательно иссекались створки измененного аортального клапана (рис. 4.1).



Рис. 4.1 Иссеченные створки клапана аорты. Пациент № 3. Женщина 70 лет.

После чего, при помощи измерителей или гибкой линейки, определялось расстояние между комиссурами для трех створок в отдельности (рис. 4.2).

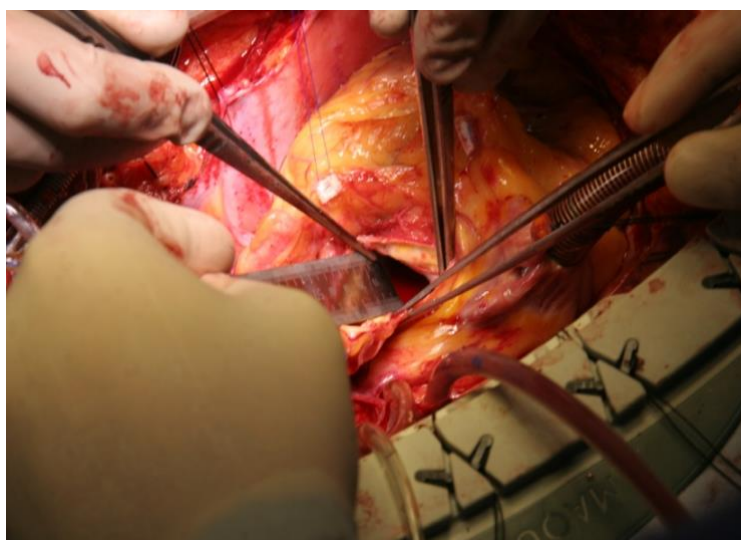


Рис. 4.2 Измерение межкомиссурального расстояния.

Значения межкомиссурального расстояния подставлялись в формулы для вычисления длины свободного края створки, длины прикрепления створки к фиброзному кольцу и высоты створки.

По полученным данным из обработанного в глутаровом альдегиде и отмытого лоскута аутоперикарда выкраивались 3 новые створки, размечались

маркером середина каждой створки на линии прикрепления. Также проводилась разметка центров синусов Вальсальвы (рис. 4.3).

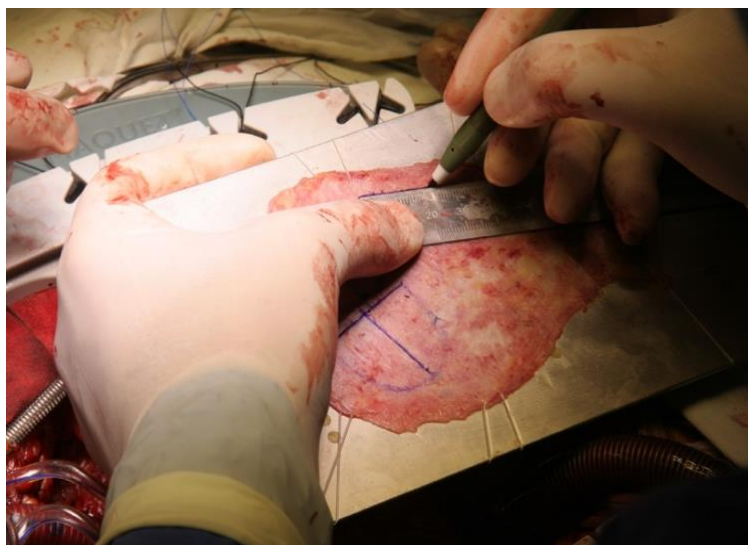


Рис. 4.3 Разметка аутоперикарда.

Неоствоки поочередно фиксировались к фиброзному кольцу непрерывным обвивным швом монофиламентной нитью пролен 5/0 – 13 от центра к комиссурам с воссозданием геометрии зоны коаптации (рис. 4.4).

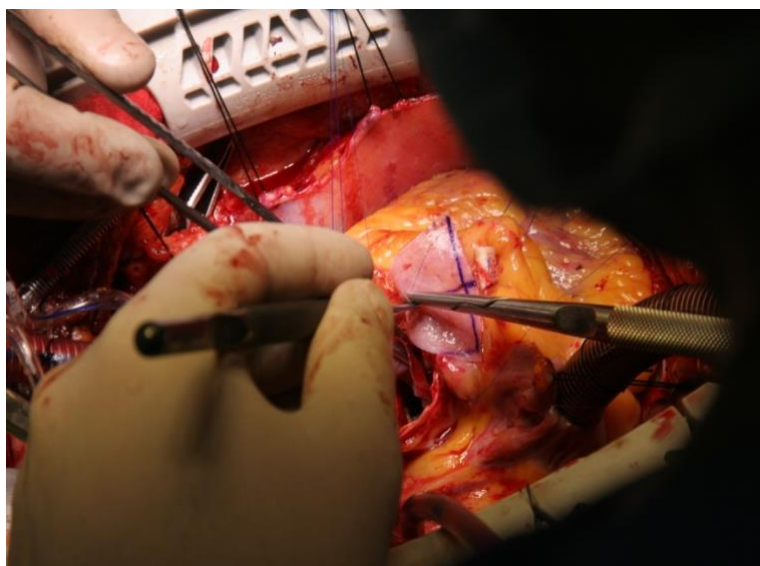


Рис. 4.4 Фиксация неостоворк к фиброзному кольцу клапана аорты.

Проводился визуальный контроль зоны коаптации. Нити выводились наружу аорты с формированием неокомиссур, которые затем укреплялись прокладками из тефлона и попарно завязывались (рис. 4.5).

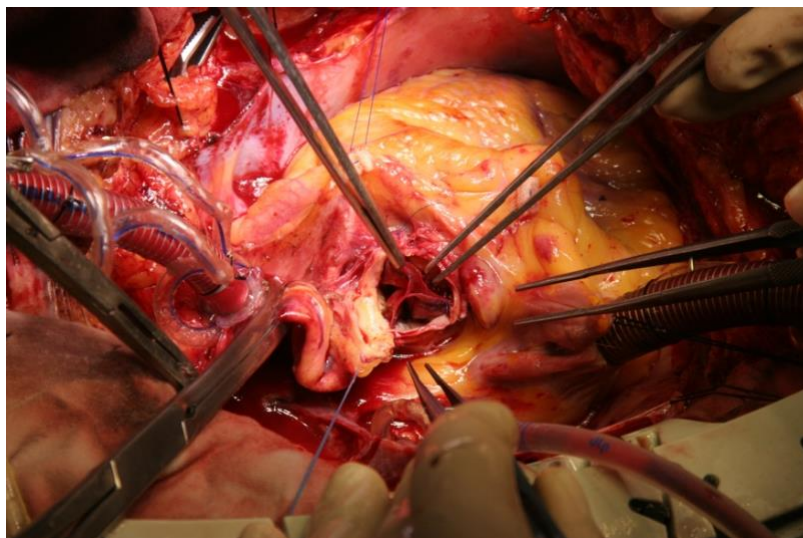


Рис. 4.5 Сформированный неоклапан аорты.

В 2 случаях оценивался только диаметр кольца аорты на уровне синотубулярного соединения и выкраивались 3 равноразмерные створки (рис. 4.6). В главе 3 подробно описана методика выведения формул.

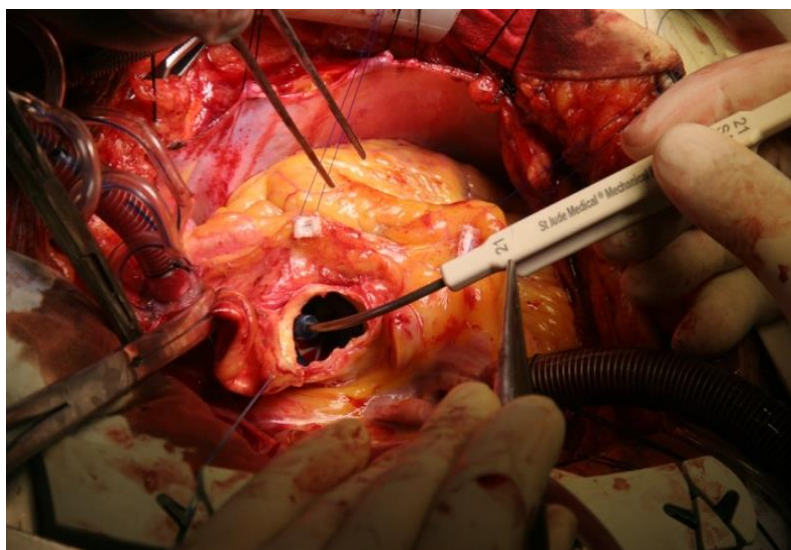


Рис. 4.6 Измерение диаметра синотубулярного соединения.

После фиксации всех трех створок и проведения гидравлической пробы аорта ушивалась двурядным швом, операция завершалась стандартно.

У 2 пациентов была III стадия недостаточности аортального клапана на фоне расширения корня и восходящей аорты $> 3,5$ см и фиброзного кольца $> 2,5$ см, им выполнена процедура некуспидизации в сочетании с протезированием восходящей аорты и корня синтетическим дакроновым протезом. Во время данной процедуры створки из аутоперикарда сначала пришиваются в дакроновый протез, сформированный конduit имплантируют в позицию корня и реимплантируют устья коронарных артерий по методике Каучукося (Moscow conduit) (рис. 4.7).

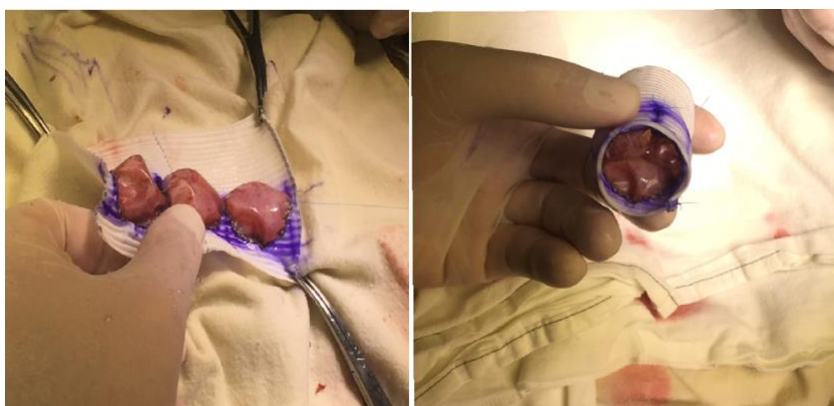


Рис. 4.7 Формирование неоклапана из перикарда в дакроновом протезе Moscow conduit.

Интраоперационно выполнялась ЧП ЭхоКГ, во время которой оценивались следующие параметры: наличие ограничений в подвижности створок, наличие регургитации, пиковый и средний градиент на неоклапане, глубина коаптации.

После выполнения оперативного вмешательства пациент в состоянии медикаментозной седации переводился в блок интенсивной терапии, где проводился непрерывный мониторинг основных жизненных функций: ЭКГ, сатурация, артериальное давление, пульс, диурез, ЭхоКГ, лабораторные анализы.

Коррекция порока клапана аорты выполнялась как изолировано, так и в сочетании с другими вмешательствами на сердце. Изолированная замена

аортального клапана была выполнена 7 пациентам (58%). В 2 (17%) случаях неоксипидизация аортального клапана сочеталась с выполнением коронарного шунтирования. 1 пациенту (8%) с пароксизмальной формой ФП и митральной недостаточностью вмешательство дополнено РЧА устьев легочных вен с лигированием ушка левого предсердия и пластикой митрального клапана опорным кольцом. Как указано выше, замена корня аорты по поводу аневризмы выполнена 2 пациентам (17%). Характеристика оперативных вмешательств представлена в таблице 4.1.

Таблица 4.1 Характеристика хирургических вмешательств.

Объем оперативного вмешательства	Количество пациентов, n, %
Изолированная коррекция порока аортального клапана	7 (58%)
+ коронарное шунтирование	2 (17%)
+замена корня аорты	2 (17%)
+ РЧА, лигирование ушка ЛП и пластика митрального клапана	1 (8%)

Оценивались ключевые интраоперационные показатели: продолжительность оперативного вмешательства (мин.), искусственного кровообращения (ИК) (мин.), ишемии миокарда (ИМ) (мин.), а так же объем кровопотери (мл). Данные анализа представлены в таблице 4.2. Для исключения влияния сопутствующих процедур, отдельно были проанализированы вышеуказанные критерии для изолированной коррекции порока аортального клапана.

Учитывая наличие множества исследований относительно сравнения различных оперативных методик по коррекции порока клапана аорты (установка механического или биологического каркасного или биологического бескаркасного клапана), данная методика отличается более длительным временем ИК и ИМ. Это может быть связано с относительно более трудоемким процессом формирования трех створок и необходимостью пришивания их по отдельности.

Таблица 4.2 Интраоперационные данные.

Критерий	Все оперативные вмешательства	Изолированные вмешательства
Длительность операции, мин	260 (228; 283)	230 (220; 260)
Время ИК, мин	110 (102; 124)	104 (88; 114)
Время ИМ, мин	88 (80; 105)	84 (71; 94)
Кровопотеря, мл	550 (350;600)	400 (200; 600)

Данные представлены как медиана, первая и третья квартиль.

Как показывает практика, с увеличением количества проделанных операций и приобретением определенного навыка у хирурга, время, необходимое на формирования клапана, сокращается. Кроме того, обращает на себя внимание небольшая кровопотеря для кардиохирургической операции, что так же является одним из показателей безопасности данной методики.

4.2 Результаты хирургической коррекции аортального порока

Оценивались только непосредственные результаты лечения порока клапана аорты. Медиана периода наблюдения за пациентами составила 15 (13; 16) суток. Клапан аорты успешно реконструирован у 100% пациентов, что подтверждалось данными интраоперационной чреспищеводной эхокардиографией, при которой оценивались основные структурные и гемодинамические показатели неоклапана: движение запирательных элементов, наличие регургитации, трансортальный градиент, коаптация створок. У всех прооперированных дисфункции неоклапана не наблюдалось.

Случаев летальности и реопераций в раннем послеоперационном периоде не зарегистрировано. За время наблюдения не выявлено ни одного случая тромбоэмболических осложнений, эндокардита клапана и отрыва створок. Сравнение основных эхокардиографических характеристик аортального клапана до оперативного вмешательства и через 2 недели после отражено в таблице 4.3.

Для оценки различий коррекции порока клапана аорты применен критерий анализа непараметрических данных Вилкоксона.

Таблица 4.3 Эхокардиографические показатели работы аортального клапана до операции и через 2 недели после.

Эхографические характеристики клапана аорты	Исходно	Через 2 недели после операции	p
Пиковая скорость, см/с	423 (412; 465)	219 (205; 264)	0.003
Пиковый градиент, мм.рт.ст	72 (67; 87)	20 (17; 29)	0.003
Средний градиент, мм.рт.ст	42 (39; 57)	11 (10; 14)	0.003
Средняя степень регургитации	1 (1;2)	0 (0; 1)	0.142
S отверстия, см ²	0,68 (0,63; 0,74)	2,1 (2; 2,4)	0.028

Данные представлены как медиана, первая и третья квартиль.

Из полученных данных можно сделать вывод, что трансаортальная пиковая скорость, пиковый градиент, средний градиент снизились в 2, 3 и 4 раза соответственно ($p = 0.003$); площадь отверстия аортального клапана достоверно увеличилась в более, чем в 3 раза ($p = 0.028$). Максимально 1 степень регургитации наблюдалась у 6 пациентов после операции.

Так же проанализированы с помощью критерия Вилкоксона эхографические характеристики, отражающие морфологию и функцию левого желудочка, такие как фракция выброса по Симпсону, конечный диастолический размер, конечный диастолический и систолический объемы, толщина задней стенки левого желудочка и межжелудочковой перегородки. Следует отметить, что на процесс послеоперационного ремоделирования миокарда у пациентов с пороком аортального клапана основное влияние оказывает степень исходной гипертрофии и наличие гипертонической болезни. В нашем исследовании статистически значимого изменения вышеуказанных параметров после оперативного

вмешательства не выявлено – $p > 0.05$ (таблица 4.4). Данный факт может быть связан с недостаточным промежутком времени, прошедшим после оперативного вмешательства и неспособностью левого желудочка столь быстро пройти процесс обратного ремоделирования миокарда.

Таблица 4.4 Эхокардиографические показатели функции левого желудочка до операции и через 2 недели после.

Эхографические характеристики функции ЛЖ	Исходно	Через 2 недели после операции	p
ФВ ЛЖ, %	67 (64; 71)	63,5 (55; 66,5)	0.157
КДР ЛЖ, см	4,6 (4,1; 5,2)	4,6 (4,1; 4,7)	0.157
КДО ЛЖ, мл	78 (65; 126,3)	79 (56,5; 99,8)	0.146
КСО ЛЖ, мл	23,5 (18; 43)	31,5 (19,8; 42,3)	0.374
ТЗСЛЖ, см	1,2 (1,1; 1,4)	1,3 (1,1; 1,5)	1
ТМЖП, см	1,5 (1,2; 1,7)	1,5 (1,2; 1,5)	0.067

Данные представлены как медиана, первая и третья квартиль.

4.3 Ограничения исследования

Исследование является пилотным, объем выборки и отсутствие нормального распределения данных ограничивают возможность выбора и применения статистических методов. Оценивались только непосредственные эхокардиографические результаты коррекции клапана аорты. Отсутствие длительного периода послеоперационного наблюдения за пациентами делают невозможным оценку качества жизни, снижения симптомов сердечной недостаточности и долговечности работы реконструированного клапана.

ГЛАВА 5. ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ СОБСТВЕННОГО ИССЛЕДОВАНИЯ

5.1 Сопоставление данных морфометрии створок клапана аорты

В норме каждая створка клапана аорты соединена со своим соответствующим сегментом стенки аорты снизу в вентрикуло-аортальном соединении и сбоку в комиссурах. Как известно, длина свободного края створки больше, чем расстояние по прямой между двумя комиссурами. Эта длина не препятствует потоку крови перемещаться через клапан во время систолы, когда створки по отдельности расходятся от центра отверстия. Функционально эта дополнительная длина во время диастолы позволяет створкам расширяться до центра отверстия клапана, где они контактирует с друг с другом, образуя зону коаптации, которая распространяется по всему свободному краю створки и на несколько миллиметров в глубину (Elzein С.Е., 2013). Степень перекрытия между смежными закрытыми створками создает эффективное уплотнение во время диастолы. Эту морфобиомеханическую закономерность очень важно учитывать при реконструкции клапана.

Процесс разработки неостворок длительное время в значительной степени был субъективным и зависел от опыта оперирующего хирурга. Отсутствие ясного (точного) представления размеров новой створки во время операции влечет за собой неоптимальную реконструкцию клапана и, следовательно, функционирование клапана, что приводит к необходимости проведения нескольких вмешательств и в конечном итоге - протезированию клапана аорты. Так же отсутствие стандартизированных критериев разработки трансплантата створки, как правило, негативно влияет на воспроизводимость хирургической манипуляции.

В нашем исследовании получены средние значения размеров правой, левой коронарной и некоронарной створок клапана аорты, статистически значимо не различающиеся между собой. Это свидетельствует о том, что в случае наличия

трехстворчатого клапана, в большинстве наблюдений имеются симметричные створки.

На сегодняшний день в мировой литературе доступны лимитированные данные относительно отношения различных размеров створок, таких как высота створки и длина свободного края. В исследовании H.J. Schäfers от 2013 года, проведенного на 615 корнях аорты пациентов с недостаточностью аортального клапана, интраоперационно оценивались только высота створок двустворчатого и трехстворчатого клапана в отдельности (Schäfers H.J., 2013). В случае трехстворчатого клапана высота створок ранжировалась в диапазоне от 12 мм до 28 мм, причем высота некоронарной створки была статистически значимо больше. Между правой и левой коронарной створками не было выявлено различий.

Кроме того, Rankin в своем исследовании с использованием компьютерной томографии 10 нормальных корней аорты взрослого человека показал, что нормальный клапан аорты имеет эллиптическую форму и три межкомиссуральных расстояния имеют приблизительно равную длину (Rankin J.S., 2013). Автор использовал эти данные для проектирования створок клапанов у двух взрослых пациентов с аортальным стенозом и аортальной недостаточностью и показал удовлетворительные результаты 2-х летнего наблюдения (Rankin J.S., 2014).

Целью исследования Contino был анализ геометрических взаимосвязей между различными структурами, составляющими корень аорты (Contino M., 2016). Особое внимание уделялось межстворчатым треугольникам Генле, вентрикуло-аортальному соединению и функциональному кольцу аорты. Работа проведена на 16 фиксированных в формалине сердцах. Среднее значение межкомиссурального расстояния составило 25 мм, причем статистически значимых различий между правым, левым и некоронарным расстоянием не выявлено.

Vollebergh и Becker проанализировали 200 нормальных сердец и 16 с изолированным аортальным стенозом, полученных во время аутопсии (Vollebergh F., 1977). К сожалению, они не указали, как сердца были препарированы и в каких

условиях проводились измерения. В обоих случаях оценивалась ширина и высота створки. При отсутствии патологии клапана: среднее межкомиссуральное расстояние составило 25,5 мм, а средняя высота для всех трех створок 14 мм. В случае стеноза: среднее межкомиссуральное расстояние было 25,7 мм, причем левая коронарная створка была наименьшей, высота створки – 13,8 мм, при наименьшей некоронарной створке. Vollebergh и Becker пришли к выводу, что изначальное неравенство в размерах створок трехстворчатого клапана аорты приводит к неравномерной механической нагрузке на структуры, что может затем играть роль в патогенезе стеноза, ускоряя процесс деградации клапана.

Silver и Roberts изучали размеры створок клапана аорты на 100 фиксированных в формалине сердцах, полученных от людей, которые умерли от причин, не связанных с сердечной патологией (Silver M.A., 1985). Они проанализировали взаимосвязь между весом сердца и параметрами створок, но не изучили взаимосвязь между размером створки и антропометрическими клинически значимыми параметрами - полом, ростом и весом индивидуума.

Обобщенное сравнение результатов морфометрии корня аорты, полученными различными исследователями и в нашей работе, представлены на рисунках 5.1 и 5.2.

Средние величины высоты створок из нашего исследования примерно одинаковы с данными Schafers и Rankin, но более высокие, чем в опубликованных ранее в исследованиях других авторов (Vollebergh F., 1977; Silver M.A., 1985; Kunzelman K.S., 1994). Вероятнее всего это связано с тем, что наше морфометрическое исследование проведено на трупах людей, через 1-3 часа после смерти, Schafers - интраоперационно при выполнении хирургического вмешательства на сердце, а Rankin анализировал результаты компьютерной томографии живых индивидуумов. Важно отметить, что при фиксации препаратов сердца в формалине, либо спустя время при отсутствии нормального физиологического давления, происходит ретракция створок, которая приводит к искажению истинных размеров створки.

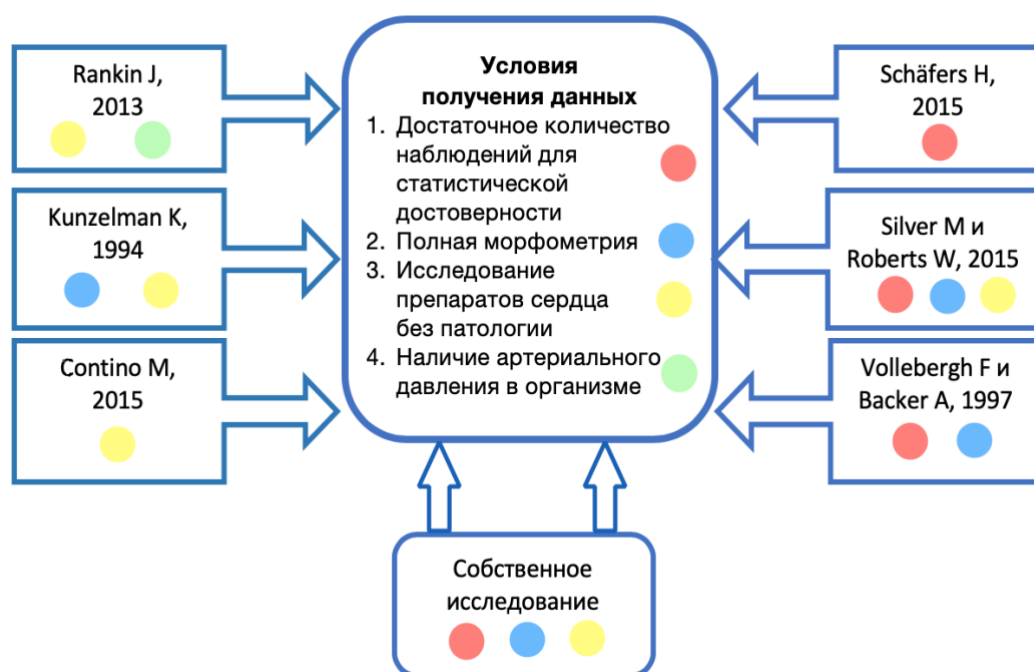


Рис. 5.1 Преимущества и недостатки методов проведения исследования у различных авторов.

Рабочая гипотеза нашего исследования заключалась в том, что структурная, морфологическая и функциональная взаимозависимость компонентов клапана аорты может быть отражена в соотношениях между ключевыми размерами корня аорты, и что эти размерные отношения могут быть применимы при выполнении реконструктивных операций. Нами изучена взаимосвязь параметров клапана и створок на препаратах нормальных сердец. Значимые корреляции наблюдались между ключевыми параметрами створки - длиной свободного поля L1, длиной прикрепления створки L2 – и межкомиссуральным расстоянием IC, длиной окружности корня аорты на разных уровнях.

Связь между диаметром корня аорты и размерами створок клапана аорты так же пытался найти Kunzelman. Однако, во-первых, им было исследовано всего лишь 10 криоконсервированных препаратов нормального корня аорты и клапана; во-вторых, его действия были направлены на поиск оптимального диаметра сосудистого протеза, выбираемого на основании размеров створок, при выполнении операции Дэвида (Kunzelman K.S., 1994).

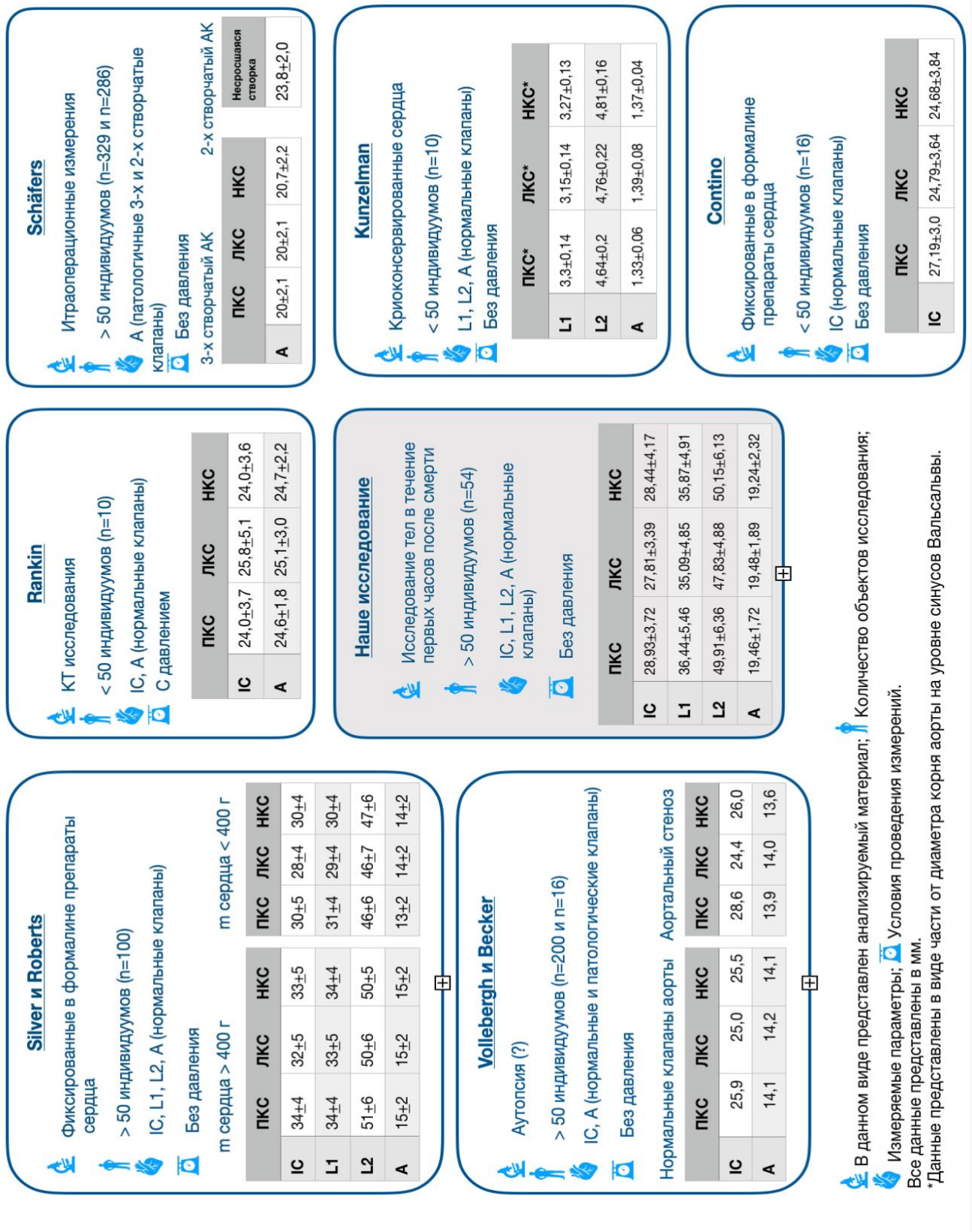


Рис. 5.2 Сравнение имеющихся в литературе и полученных в данном исследовании результатов морфометрии, условий и характеристик объектов исследования.

Subramanian в своей статье представлял сведения о характере взаимоотношений между структурами корня аорты на препаратах детских сердец (Subramanian S., 2016). Он выявил сильную корреляционную связь между межкомиссуральным расстоянием и другими размерами с учетом каждой створки в отдельности. Дизайн данного исследования был взят за методическую основу выполнения анатомической части данного диссертационного исследования. Одним из существенных недостатков работы Subramanian является использование препаратов, фиксированных в формалине. Как известно, такая фиксация может привести к артефактам – деформированию, сжатию и асимметрии створок, что искажает истинные размеры клапана аорты и корреляцию между ними. Этот недостаток исключен в нашем исследовании, так как мы использовали только что извлеченные из трупа сердца. Это позволило сохранить естественно-напряженное состояние тканей и геометрию створок в норме, т.е. сделать измерения более корректными.

Как указано выше, окружность вентрикуло-аортального соединения в норме имеет хорошую корреляцию с длиной свободного края створки, но изменяется под влиянием патологического процесса. Поэтому вывод параметров створок из известной длины окружности фиброзного кольца клапана аорты не всегда может быть применим в клинической практике. Мы решили использовать межкомиссуральное расстояние в качестве основы для реконструкции створки. Кроме того, поскольку IC может быть надежно измерена до или во время операции, это обеспечивает наиболее быстрый и простой расчет остальных параметров, таких как L1, L2 и A.

В тех случаях, когда имеется дилатация кольца и его размер нормализуется методом аннулопластики или протезированием корня аорты дакроновым протезом, окружность восстановленного кольца может быть использована для прогнозирования размеров створок. Однако, когда кольцо остается расширенным или стенозированным, межмиссуральное расстояние может быть лучшей заменой. Это базируется на предположении, что отношение IC к различным размерам створок в клапанах при патологии будет таким же, как и в нормальном клапане.

Выявленные в исследовании взаимосвязи могут быть использованы в клинической практике для оптимизации и облегчения методики реконструкции створок, которая является одним из ключевых компонентов вальвулопластики клапана аорты. Таким образом, после того, как становится известно межкомиссуральное расстояние, либо оно получено дооперационно с помощью ЭхоКГ, либо интраоперационно с помощью прямого измерения, уравнения регрессии (1), (2), (3) могут быть применены для получения длины L1, L2 и высоты створки A.

Например, если IC правой коронарной створки составляет 27 мм, то на основании уравнения регрессии, длина свободного поля L1-ПКС получается равной 35 мм, а высота створки A-ПКС - 19 мм. Необходимо добавить по 3 мм с каждой стороны трансплантата, где он прикрепляется к стенке аорты – это поправка на шов и, 3 мм к высоте створки - для исключения возможной центральной регургитации в последующем. Кроме того, по данным Elzein плицирование центральной точки свободного края трансплантата створки или перекрывание свободного края бегущим швом может дополнительно оптимизировать коаптацию створок (Elzein С., 2013). В нашем исследовании это не использовалось. Для более точной реконструкции створок клапана и его последующего функционирования могут потребоваться дополнительные незначительные технические изменения.

Разработка нестворок предложенным нами способом позволяет получить оптимальную по форме и размерам, необходимую для улучшения коаптации и функции клапана. Вопрос о том, действительно ли этот клапан, полученный с использованием формул увеличивает долговечность реконструкции на практике, является предметом мониторинга продолжающегося исследования.

В нашей работе удалось выявить важную закономерность: наличие связи между размерами створок и одной из основных антропометрических характеристик человека: его ростом. В этом плане она дополняет представления о морфофункциональных закономерностях конструкции и анатомической конституции тела человека и согласуется с исследованиями (Babaee Bigi M.A.,

2007; Zhu D., 2011), в которых обнаружена подобная связь с размерами корня аорты. В работах этих авторов с помощью эхокардиографии анализировалась анатомия корня аорты и оценивались зависимости между диаметрами корня аорты на разных уровнях и полом, возрастом, ростом, весом, уровнем физической активности человека и др. Schäfers указывает на наличие прямой корреляции между высотой створки и ростом, весом, площадью поверхности тела и диаметром атрио-вентрикулярного соединения. Была обнаружена значимая, хотя и более слабая, отрицательная корреляция между высотой створки и возрастом человека (Schäfers H.J., 2013).

5.2 Ограничения анатомической части исследования

Первым ограничением нашего исследования является попытка спроектировать трехмерную параболическую створку из двумерного листа ткани. В настоящее время в мире проводятся работы по измерению аортального клапана в режиме реального времени в систолу и диастолу с использованием 3D-эхокардиографии. Есть вероятность, что они повысят точность полученных линейных соотношений.

Второе ограничение заключается в том, что отношения, определенные в нормальном сердце, могут быть изменены в аномальных клапанах или клапанах, которые были реконструированы ранее. Наше исследование описывает общий подход и способ реконструкции клапана. Продолжающийся функциональный анализ клапанов, реконструированных с использованием результатов данного исследования, может подтвердить возможность их использования в аортальной вальвулопластике для широкого спектра патологии клапана аорты.

Третье ограничение - анализ проводился на кадаверных сердцах. Известно, что аорта у человека *in vivo* расширяется под давлением. Исходя из данных Silver в исследовании о податливости аорты, при физиологическом давлении 120-130 мм рт. ст. диаметр корня аорты может увеличиться на 20-25% (Silver F., 1989). Таким образом, математическое отношение диаметра корня к размерам створок будет изменяться при наличии давления.

Средний возраст людей, препараты сердца которых были изучены, составил $65 \pm 13,7$ лет. С возрастом происходит изменение формы корня аорты, расширение синотубулярного соединения, уплотнение створок клапана аорты (Silver M.A., 1985), которое иногда сложно дифференцировать от нормальной ткани. Тем не менее, пациентам в период госпитализации и незадолго до смерти выполнялась ЭхоКГ, по данным которой все аортальные корни считались нормальными.

Помимо этого Silver и Roberts доказали, что масса сердца статистически достоверно влияет на параметры створок (Silver M.A., 1985). В своем исследовании мы не учитывали массу и размеры сердца трупов, что могло внести некоторые коррективы в результаты исследования.

5.3 Сравнение полученных результатов реконструкции клапана аорты с имеющимися в литературе

В целом идея использования различных материалов для замены клапана аорты (тефлон, ксеноперикард, аутоперикард) не является новой. В начале 1960-х годов начали выполнять операции, направленные сначала на коррекцию отдельных пораженных створок клапана аорты (удлинение створки), а затем и полную реконструкцию клапана. Однако результаты коррекции порока были недолговечными из-за быстрой дегградации материалов. С появлением методики обработки ауто- и ксеноперикарда глутардегидом данные хирургические вмешательства получили более широкое распространение (Иванов В.А., 2016).

Duran описал восстановление клапана аорты с использованием лоскута аутологичного перикарда (Duran C., 1995). Он начал обрабатывать аутоперикард 25% раствором глутаральдегида. Обработанный перикард использовался для увеличения высоты створок и формирования комиссур нативного аортального клапана, что приводило к увеличению зоны коаптации. Помимо этого обработка глутаровым альдегидом позволяла обеспечить устойчивость к ретракции и дегенерации, а также поддержать эластичность тканей.

Исследования Duran являются одними из первых, направленных на поиск оптимальных размеров створок клапана аорты. Во время выполнения

реконструктивных операций он использовал специальные пластиковые шаблоны, изготовленные на основе ранее выполненных работ (Thubrikar M., 1981; Silver M.A., 1985) с использованием морфометрии. Выбор шаблона зависел от измеренного интраоперационно фиброзного кольца клапана аорты. Три створки вырезались единым блоком из бычьего перикарда или из аутоперикарда и пришивались в позицию иссеченных патологически измененных створок. По сообщениям Duran, за 6 лет по этой методике было прооперировано 74 пациента. Не было зарегистрировано ни одного случая госпитальной летальности и тромбоэмболии. Лишь в 5,2% - потребовалась реоперация из-за дисфункции неоклапана (Duran C., 1995).

Важным преимуществом реконструктивных операций на клапане аорты является отсутствие необходимости приема пожизненной антикоагулянтной терапии. Таким образом уменьшается риск геморрагических, тромбоэмболических событий, повышается качество жизни, что делает подобные хирургические вмешательства востребованными среди широкого круга пациентов. В связи с чем, развитие старых и поиск новых методов реконструкции клапана аорты является чрезвычайно актуальной проблемой.

Протезирование клапана аорты с помощью механического или каркасного биологического протеза в своей сути подразумевает фиксацию манжеты протеза к фиброзному кольцу аорты, таким образом уплощая его арочную структуру, изменяя геометрию аортального клапана и стабилизируя его в ходе сердечного цикла. Это приводит к отсутствию расширения корня аорты в диастолу и сужения в систолу. Через аорто-митральную непрерывность, левый и правый фиброзные треугольники идет влияние на верхне-переднюю полукружность переднюю створку митрального клапана. При неокуспидизации сохраняется подвижность аортального кольца, за счет чего сохраняются деформационные свойства корня аорты во время сердечного цикла, что является так же преимуществом данного метода перед протезированием.

В настоящее время выполняются различные модификации операций по полной замене створок клапана аорты из перикарда. Ереванский исследователь

В.Х. Гаспарян в своей работе также приводит оригинальный метод воссоздания неоклапана аорты по формулам из аутоперикарда (Гаспарян В.Х., 2000). Он провел морфометрические исследования нормальных корней аорты 20 трупов, в которых измерял межкомиссуральное расстояние для каждой створки, комиссуральную высоту и стороны равнобедренного треугольника ABC, основание которого соответствует основанию треугольника Генле, а высота сумме высот треугольника и комиссуральной высоте (рис. 5.3).

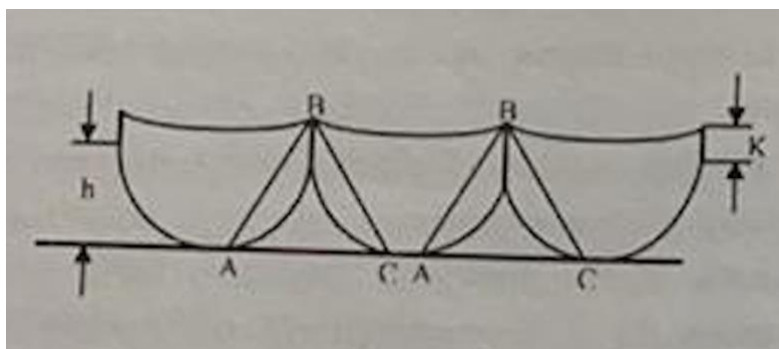


Рис. 5.3 Схема развернутого корня аорты (Гаспарян В.Х., 2000).

Изначально автор выдвигает гипотезу о том, что длина свободного края створки превышает свой межкомиссуральный размер на 20%. Затем, применив к результатам морфометрии статистический критерий различия хи-квадрат, он подтверждает данную гипотезу и выводит уравнение для получения длины свободного края: $L = 1,2 \cdot l$, где l – межкомиссуральное расстояние.

Затем проанализировав результаты морфометрии, Гаспарян пришел к выводу, что все треугольники ABC на препаратах развернутого корня аорты являются равнобедренными. И высоту створки можно вычислить по теореме Пифагора: $H = \sqrt{3}/2 \cdot AB = 0,866 \cdot l$, где H – высота треугольника, AB – сторона треугольника равна l – среднему межкомиссуральному расстоянию. Гипотеза вычисления высоты створки также подтверждена с помощью критерия различия хи-квадрат.

Средний радиус прикрепляющегося края и средняя комиссуральная высота выражается через межкомиссуральное расстояние и соответствуют формулам: $R =$

$0,6 \cdot l$ и $K = 0,266 \cdot l$, где R – средний радиус прикрепляющегося края, l – средняя межкомиссуральное расстояние и K – средняя комиссуральная высота. Причем в обоих случаях нужно использовать среднее значение и пренебречь отклонением величин, так как при вычислении критерия существенности отличия хи-квадрат он показал абсолютное тождество между правой, левой и некоронарной створками клапана аорты.

Формулы Гаспаряна были применены при реконструкции клапанов в эксперименте на трупных сердца и единично в клинической практике с благоприятными исходами. Предложенные нами формулы отличаются и основаны не на гипотезах статистической достоверности, а на математических расчетах, что позволяет получить в результате створки, максимально схожие с нативными.

Наиболее популярным из методов неокуспидизации клапана аорты на сегодняшний день является операция Ozaki. Размер створок при этой методике, как правило, рассчитывают исходя из межкомиссуральных расстояний. Ее преимущество заключается в том, что ее можно использовать для замены одной створки, а также при операциях на двустворчатом аортальном клапане. К 2014 г. S. Ozaki и соавт. прооперировали по данной методике 404 пациента и оценили ближайшие результаты (средний срок наблюдения за пациентами составил 23 месяца). Им не пришлось прибегнуть ни к одной конверсии в протезировании клапана аорты. В раннем послеоперационном периоде зафиксировано суммарно 7 внутрибольничных летальных исходов от некардиальных осложнений. При выписке из стационара пиковый градиент на аортальном клапане составил $13,8 \pm 10,2$ мм рт. ст. Двум пациентам выполнена реоперация из-за инфекционного эндокардита. Авторы зафиксировали полное отсутствие тромбоэмболических осложнений без применения антикоагулянтной терапии (Ozaki S., 2014).

В своей статье от 2018 года Ozaki сообщил о некоторых дополнениях, которыми он усовершенствовал методику восстановления клапана аорты, изменив, во-первых, поверхность обработанного перикарда, обращенную к левому желудочку с шероховатой на гладкую, предотвратив тем самым развитие

послеоперационной тромбоцитопении. Во-вторых, в январе 2011 года было введено удлинение ширины крыла створки на 5 мм, что привело к лучшей фиксации створки вдоль комиссуры. С ноября 2012 года начали выполнять полную трикуспидизацию тремя равноразмерными створками, так как ранее было несколько случаев, когда размеры трех створок были очень разными и послеоперационная ЭхоКГ показывала неравномерные движения створок, и как следствие - ухудшение работы клапана. Так же были оценены среднесрочные результаты 850 прооперированных по данной методике пациентов. Насчитывалось 534 пациентов с аортальным стенозом, 254 с аортальной регургитацией, 61 с сочетанным поражением, 19 с инфекционным эндокардитом, и 5 с протезированным ранее аортальным клапаном. Средний срок наблюдения составил $53,7 \pm 28,2$ месяца. Не было ни одной конверсии в протезирование клапана. Госпитальная летальность составила 16 человек. Послеоперационная эхокардиография выявила пиковый градиент давления в среднем $19,5 \pm 10,3$ мм.рт.ст. через 1 неделю после операции и $15,2 \pm 6,3$ мм.рт.ст. через 8 лет после операции. 15 пациентам потребовалась реоперация (13 случаев инфекционного эндокардита, 1 отрыв нити и 1 разрыв створки). Отсутствие летальных исходов, суммарная частота реоперации и рецидивирующая умеренная или тяжелая аортальная недостаточность составили 85,9%, 4,2% и 7,3%, соответственно, с самым длительным наблюдением 118 месяцев (Ozaki S., 2018).

Неокуспидизация по предложенным формулам, как и операция Ozaki, с технической точки зрения, достаточно проста в исполнении. Ее основополагающим моментом является правильный расчет размеров створок с учетом межкомиссуральных расстояний.

Если сравнить шаблоны для неокуспидизации Ozaki и результаты применения полученных нами уравнений с точки зрения оценки геометрии, то можно отметить практически полное совпадение по параметрам длины свободного края створки и значительное отличие в показателях длины прикрепления створки и высоты створки. Высота створки шаблонов Ozaki практически в 2 раза больше. Это может быть связано с тем, что Ozaki

рекомендует проводить неокспидизацию следующим образом: в момент пришивания неостворок к кольцу клапана аорты, шаг шва на стенке аорты по отношению к шагу шва на створке должен составлять 1:3 соответственно. Данная особенность приводит к «собираению» створки, ее укорочению и за счет более чашеобразной формы приводит к хорошей коаптации створок.

Для практического использования неокспидизации по формулам имеется ряд преимуществ. Проведенное нами пилотное одноцентровое исследование демонстрирует безопасность и осуществимость реконструкции клапана аорты. Полученные невысокие трансортальные градиенты, отсутствие поддерживающего каркаса и шовной манжеты максимизирует эффективную площадь отверстия и может быть особенно необходимым у пациентов с малым диаметром корня аорты или сниженной функцией левого желудочка. Помимо хороших гемодинамических результатов, неокспидизация клапана аорты по расчетным формулам не требует дополнительного какого-либо обеспечения, инструментария и линейки размеров протезов, что упрощает процесс и является экономически обоснованным. А также позволяет выполнить реконструктивную операцию на клапане аорты в условиях практически любой кардиохирургической операционной.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Аортальные клапанные пороки являются тяжелой и достаточно распространенной патологией сердечно-сосудистой системы, ассоциированной с прогрессирующим течением и высоким риском летального исхода при отсутствии оперативного вмешательства. Протезирование клапана аорты вошло в рутинную практику кардиохирургических отделений и уже многие годы является признанным "золотым стандартом". Но на сегодняшний день, вопрос стоит не только о спасении человека, но и об улучшении качества его жизни. Общемировая тенденция направлена на выполнение реконструктивных процедур на клапане аорты и, как следствие, отказ от приема антикоагулянтов.

Процедура полной неокуспидизации клапана аорты представлена различными модификациями и оригинальными авторскими методиками, имеющими как достоинства, так и недостатки. Поиски новых методов направлены на упрощение и усовершенствование техники оперативного вмешательства.

Целью нашего исследования была разработка универсальной математической модели в определении размеров створок аортального клапана для его протезирования из перикарда.

Наше исследование состояло из двух частей – анатомической и клинической.

На первом этапе проводилась морфометрия нормальных корней аорты 54 трупов из отделения патологической анатомии Сеченовского Университета и ГКБ имени А.К. Ерамишанцева. Измерялись и анализировались основные размерные характеристики корня аорты в целом (длина окружности на уровне вентрикуло-аортального соединения, синусов Вальсальвы и синотубулярного соединения) и каждой створки в отдельности (межкомиссуральное расстояние, длина свободного края, длина линии прикрепления и высота створки). Полученные результаты послужили для формирования базы данных, которая была подвергнута статистическому анализу.

При оценке размеров корня аорты, наши данные согласовались с имеющимися в литературе о том, что длина окружности на уровне синотубулярного соединения и соответственно его диаметр является большим по отношению к длине окружности и диаметру вентрикуло-аортального соединения на 10-20%.

Далее мы сопоставили между собой все размерные характеристики трех створок на предмет межгрупповых различий с помощью однофакторного дисперсионного анализа и использования критерия Н Краскала – Уолисса. В ходе которого не было выявлено статистически значимых межгрупповых различий между створками. Для всех размеров створок значение составило $p > 0.05$ (межкомиссуральное расстояние $p = 0.083$, высота комиссуры $p = 0.059$, длина свободного края $p = 0.331$, длина прикрепления $p = 0.056$, высота створки $p = 0.518$).

Это позволило объединить данные по некоронарной, правой и левой коронарной створки в одну группу, увеличив число наблюдений с 54 до 162 единиц. Был проведен корреляционно-регрессионный анализ между различными параметрами створок, корнем аорты в целом и антропометрическими характеристиками трупов.

Значимые корреляции выявлены между всеми размерами створок клапана аорты и длиной окружности его кольца на уровне вентрикуло-аортального соединения, длиной окружности на уровне синусов Вальсальвы, а так же длиной окружности на уровне синотубулярного соединения. Значимая, но более слабая корреляционная связь выявлена между всеми размерами створок и ростом пациентов.

Далее мы приступили к анализу зависимости между различными параметрами створки. Для выявления значимых корреляций использовали пороговое значение коэффициента корреляции Пирсона $r > 0,6$. Нами выявлено большое количество корреляционных связей. Однако наибольший интерес представляла зависимость от показателя, который можно легко измерить интраоперационно – межкомиссурального расстояния. Мы выявили высокие

значения коэффициента r отражающие связь IC и L1, L2. Чуть более низкая связь зарегистрирована между IC и A. Были выведены регрессионные уравнения зависимостей между IC и L1, L2, A ($L1 = 1,04*IC + 6,17$; $L2 = 1,21*IC + 18,9$; $A = 0,33*IC + 10,05$), которые возможно использовать для неоккупидизации. При отсутствии возможности измерения межкомиссурального расстояния или необходимости сформировать новые комиссуры (например, при наличии двустворчатого клапана и желании изготовить трехстворчатый клапан) достаточно измерить диаметр синотубулярного соединения и на основании формулы $IC = \pi d/3$, получить среднее межкомиссуральное расстояние и соответственно вычислить остальные неизвестные размеры трех одинаковых створок.

Полученные уравнения были применены в практике кардиохирургического отделения Сеченовского Университета в проспективном, пилотном исследовании на 12 пациентах, которые имели показания к замене клапана аорты. Критериями не включения пациентов в исследование являлись стандартные состояния, являющиеся противопоказанием к выполнению операции на сердце. Среди больных было 6 (50%) мужчин и 6 (50%) женщин. Площадь поверхности тела $1,8 \pm 0,16$ м², Возраст больных колебался от 31 до 76 лет, в среднем 58 ± 14 лет, 8 пациентов страдали аортальным стенозом, 2 – аортальной недостаточностью, 2 – комбинированным пороком клапана аорты. Основные эхокардиографические характеристики пациентов: скорость кровотока на аортальном клапане составила более 4 м/с, пиковый градиент 71,5 мм.рт.ст., средний градиент – 42 мм. рт. ст., S отверстия клапана аорты (при стенозе) в среднем составила 0,7 см². Двустворчатый клапан зарегистрирован у 5 человек. Кальциноз 3 степени у 8 человек. У 2 была аортальная недостаточность 3 степени.

После полного обследования с помощью стандартных клинических, лабораторных и инструментальных методов, подготовки пациента и получения информированного добровольного согласия выполнялось хирургическое вмешательство по коррекции порока клапана аорты.

Операцию проводили через срединную стернотомию с применением аппарата искусственного кровообращения и фармакохолодовой кардиopleгии раствором Кустодиол. Первым этапом у пациента забирался лоскут аутоперикарда размером не менее 7 x 8 см, производилась очистка данного лоскута от жира и других избыточных тканей и выполнялась фиксация аутоперикарда в 0,6% растворе глутарового альдегида с буфером в течение 8 минут. Обработанный перикард промывали 3 раза физиологическим раствором в течение 6 минут. Измененные створки клапана аорты последовательно. Затем измерялось межкомиссуральное расстояние. Значения межкомиссурального расстояния подставлялись в формулы для вычисления длины свободного края створки, длины прикрепления створки к фиброзному кольцу и высоты створки. Далее на участке перикарда по линейке вырисовывалась линия, соответствующая длине свободного края, отмечалась ее середина и от этой точки также по линейке строился перпендикуляр, соответствующий высоте створки. Затем крайние точки двух линий соединяли параболической линией, размер которой соответствовал длине прикрепления створки. Пунктирными линиями добавляли к границам створки по 3 мм с тех сторон, которые будут крепиться к аорте (припуск на шов) и 3 мм к высоте створки для исключения центральной регургитации. По подобной схеме изготавливались еще две створки. Далее готовые неостворки вырезали и поочередно фиксировали к фиброзному кольцу непрерывным обвивным швом монофиламентной нитью пролен 5/0 – 13 от центра к комиссурам с воссозданием геометрии зоны коаптации. И после ушивания аорты и схода с искусственного кровообращения функцию клапана оценивали с помощью ЧП ЭхоКГ.

Изолированная замена аортального клапана была выполнена 7 пациентам (58%). В 2 (17%) случаях неокуспидизация аортального клапана сочеталась с выполнением коронарного шунтирования. 1 пациенту (8%) с пароксизмальной формой фибрилляции предсердий и митральной недостаточностью вмешательство дополнено РЧА устьев легочных вен с лигированием ушка левого предсердия и пластикой митрального клапана опорным кольцом. 2 пациентам с

аортальной недостаточностью и расширением корня аорты 4 см выполнена замена корня аорты дакроновым протезом.

Оценивались только непосредственные результаты лечения порока клапана аорты. Медиана периода наблюдения за пациентами составила 15 (13; 16) суток. При анализе основных интраоперационных показателей – получены следующие данные: продолжительность оперативного вмешательства составила в среднем 260 (228; 283) мин., время искусственного кровообращения – 110 (102; 124) мин., время ишемии миокарда – 88 (80; 105) мин., объем кровопотери – 550 (350; 600) мл. Так же были проанализированы данные критерии для изолированных вмешательств на клапане аорты.

Клапан аорты успешно реконструирован у 100% пациентов. Случаев летальности и реопераций в раннем послеоперационном периоде не зарегистрировано. За время наблюдения не выявлено ни одного случая тромбоэмболических осложнений, эндокардита клапана и отрыва створок. Основные эхокардиографические характеристики неоклапана: скорость кровотока на аортальном клапане составила более 219 (205; 264) м/с, пиковый градиент 20 (17; 29) мм.рт.ст., средний градиент – 11 (10;14) мм. рт. ст., S отверстия клапана аорты 2,1 (2; 2,4) см². Максимально 1 степень регургитации наблюдалась у 6 пациентов после операции. Из полученных данных можно сделать вывод, что трансортальная пиковая скорость, пиковый градиент, средний градиент снизились в 2, 3 и 4 раза соответственно ($p = 0.003$); площадь отверстия аортального клапана достоверно увеличилась в более, чем в 3 раза ($p = 0.028$). Основные показатели функции ЛЖ в раннем послеоперационном периоде достоверно не различались.

В заключении хотелось бы отметить, что применение регрессионных формул в клинической практике возможно. Неоклапан, реконструированный с их помощью, имеет гемодинамические характеристики максимально схожие с нативным клапаном аорты, что, возможно, в последующем будет способствовать более длительному его функционированию.

ВЫВОДЫ

1. Морфометрические характеристики корня аорты в норме позволили получить необходимый набор данных, с помощью которых разработана математическая модель для выкраивания неостворок перикарда при реконструктивных операциях на клапане аорты. Размеры некоронарной (средние значения: $IC = 28,44 \pm 4,17$ мм; $L1 = 35,87 \pm 4,91$ мм; $L2 = 50,15 \pm 6,13$ мм; $A = 19,24 \pm 2,32$ мм), правой коронарной (средние значения: $IC = 28,93 \pm 3,72$ мм; $L1 = 36,44 \pm 5,46$ мм; $L2 = 49,91 \pm 6,36$ мм; $A = 19,46 \pm 1,72$ мм) и левой коронарной (средние значения: $IC = 27,81 \pm 3,39$ мм; $L1 = 35,09 \pm 4,85$ мм; $L2 = 49,16 \pm 6,09$ мм; $A = 19,39 \pm 0,63$ мм) створок клапана аорты статистически достоверно различий не имеют ($p > 0.05$).

2. Полученные математические формулы регрессионного анализа для определения высоты, длины свободного края и длины прикрепления створки возможно применять как при известном межкомиссуральном расстоянии в случае сохраненных комиссур клапана аорты, так и при известном диаметре синотубулярного соединения в случае создания симметричного трехстворчатого клапана аорты.

3. Описанный алгоритм проведения неокуспидизации клапана аорты по формулам достаточно прост в исполнении с технической точки зрения. Его основополагающим моментом является правильный расчет размеров створок.

4. Реконструированный с применением полученных формул неоклапан имеет гемодинамические характеристики схожие с нативным клапаном аорты. По данным ЭхоКГ в раннем послеоперационном периоде: пиковая скорость на неоклапане составила 219 (205; 264) см/с; пиковый градиент - 20 (17; 29) мм.рт.ст.; средний градиент - 11 мм.рт.ст.; S отверстия - 2,1 (2; 2,4) см²; регургитация – максимально до 1 степени.

ПРАКТИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ

1. При реконструктивных вмешательствах на клапане аорты наиболее предпочтительно формировать 3 одинаковые неостворки, так как симметричный клапан аорты является наиболее устойчивым к интенсивным гемодинамическим нагрузкам.

2. Для вычисления длины свободного края створки при известном межкомиссуральном расстоянии, необходимо воспользоваться формулой:

$$L1 = 1,04 * IC + 6,17$$

3. Для вычисления длины прикрепления створки при известном межкомиссуральном расстоянии, необходимо воспользоваться формулой:

$$L2 = 1,21 * IC + 18,9$$

4. Для вычисления высоты створки при известном межкомиссуральном расстоянии, необходимо воспользоваться формулой:

$$A = 0,33 * IC + 10,05$$

5. Данные уравнения возможно применять при наличии изолированной патологии створки, а так же при необходимости выполнения полной неокспидизации клапана аорты.

6. В случае формирования трехстворчатого симметричного неоклапана, достаточно измерить диаметр корня аорты на уровне синотубулярного соединения, вычислить значение межкомиссурального расстояния

$$IC = \pi d / 3,$$

используя вышеуказанные формулы, выкроить 3 равные по размерам створки и пришить их в позицию клапана аорты.

7. При фиксации неостворок к фиброзному кольцу клапана аорты непрерывным обвивным швом важно избегать травматических повреждений ткани аутоперикарда путем минимизации касания инструментами тех областей, которые будут соответствовать телу створки.

8. Восстановление клапана аорты из перикарда позволяет избежать пожизненного приема антикоагулянтов в послеоперационном периоде, снизить риск геморрагических и тромбозных осложнений, а так же повысить качество жизни пациентов.

9. Процедура реконструкции клапана аорты по формулам является более обоснованной с экономической точки зрения по сравнению с другими методами лечения пороков аортального клапана, так как не требует дополнительного обеспечения в виде инструментария и протезов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Андерсон Р.Г., Спайсер Д.Е, Хлавачек Э.М., Кук Э.К., Бейкер К.Л. Хирургическая анатомия сердца по Уилкоксу. —Пер. с англ. М.— Логосфера.— 2015.— с. 66–75.
2. 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.— Т. 60.— № 3.— С. 217–225.
3. Гаспарян В.Х. Определение параметров аортального клапана и перспективы его реконструкции аутоперикардальным лоскутом: автореф. дис. ... канд. мед. наук: 14.00.15 Хирургия / Ереванский гос. мед. ун-т им. Мхитара Гераци.— Ереван.— 2000.
4. Иванов В.А., Евсеев Е.П., Айдамиров Я.А., Федулова С.В., Никитюк Т.Г. Протезирование аортального клапана створками из ксеноперикарда // Клини. и эксперимент. хир. Журн. им. акад. Б.В. Петровского.— 2016.— Т. 4.— № 4 (14).— С. 16–21.
5. Караськов А.М., Чернявский А.М., Порханов В.А. Реконструктивная хирургия корня аорты.— Новосибирск: Академическое издательство «Гео».— 2006.— С. 255.
6. Карпова Н.Ю., Рашид М.А., Чипигина Н.С., Казакова Т.В., Зудилина А.Э. Кальцинированный аортальный стеноз: известные факты и перспективы исследования. // Клиницист.— 2020.—Т. 14.—№ 1-2.—С. 34—41.
7. Колесников Л.Л. Международная анатомическая терминология. Terminologia Anatomica. — Издательство Медицина.—2003.
8. Комаров Р.Н., Катков А.И., Одинокова С.Н. Современные анатомические представления о строении корня аорты с точки зрения практикующего хирурга. // Кардиология и сердечно-сосудистая хирургия.— 2019.—Т.12— № 5.—С. 433-440.
9. 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.—Т. 23.— № 4.— С. 9—25.
10. Кудрявцева Ю.А. Биологические клапаны сердца. От идеи до клинического применения. // Комплексные проблемы сердечно-сосудистых заболеваний.— 2015.— Т. 4.— С. 6—16.
11. Несмачный А.С., Карева Ю.Е., Рузматов Т.М., Чернявский А.М. Пластика створок аортального клапана ксеноперикардальным лоскутом с использованием удерживающего устройства как альтернатива протезированию аортального клапана // Патология кровообращения и кардиохирургия.— 2016.— Т. 20.— № 2.— С. 58—65.
12. Одиноква С.Н., Николенко В.Н., Комаров Р.Н., Винокуров И.А., Мнацакян Г.В., Белхароева Р.Х. Корреляции морфометрический параметров структур корня аорты, имеющие практическое значение в хирургической коррекции аортального клапана. // Морфологические ведомости.—2020.—Том 28.—№ 1.—С. 30—36.
13. Патент 2741253 Российская Федерация, МПК А61В 17/00 (2006.01), СПК А61В 17/00 (2020.08). Способ неокуспидизации аортального клапана. / Комаров Р.Н., Николенко В.Н., Одиноква С.Н., Катков А.И., Пузенко Д.В.— Заявитель и патентообладатель ФГАОУ ВО Первый МГМУ им. И.М.Сеченова. — Заявка:2020120240, 18.06.2020. — (дата обращения: 08.12.2021). — URL: https://www.fips.ru/registers-doc-view/fips_servlet?DB=RUPAT&DocNumber=2741253&TypeFile=html.
14. Райдинг Э. Эхокардиография. Практическое руководство.—М.— МЕДпресс-информ.— 2010.—С. 280.
15. 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.— Т. 20.— № 2.— С. 26—30.
16. Соловьёв Г.М., Шумаков В.И. Протезирование клапанов сердца // Труды

XXVIII съезда хирургов. —М. —1967.—С. 632.

17. Спиридонов С.В., Мицкевич В.Е., Одинцов В.О., Щетинко Н.Н., Шкет А.П., Мурадян С.А., Глыбовская Т.В., Островский Ю.П. Анализ прямых экономических затрат при использовании криосохраненных аллогraftов у пациентов с патологией аортального клапана и восходящей аорты в сравнении с коммерчески доступными аортальными протезами и кондуитами. // Медицинский журнал.— 2016.— № 3.— С. 119–125.
18. Фальковский Г.Э. Строение сердца и анатомические основы его функции. Материалы курса лекций. —НЦССХ им. А.Н. Бакулев.— 2014.—С. 214.
19. Anderson R. Understanding the structure of the unicuspid and unicommissural aortic valve // J Hear. Valve Dis. — 2003. —Vol. 12.— № 6.— P. 670- 673.
20. Anderson R.H., Webb S., Brown A.N., Lamers W., Moorman A. Development of the heart: (3) Formation of the ventricular outflow tracts, arterial valves, and intrapericardial arterial trunks // Heart.— 2003. Vol. 89. —№ 9.—P.1110–1118.
21. Anderson R.H., Spicer D.E., Mori S. The clinical anatomy of the aortic root // Heart. 2000.— Vol. 84.— № 6.— P. 670–673.
22. Babaei Bigi M.A., Aslani A. Aortic Root Size and Prevalence of Aortic Regurgitation in Elite Strength Trained Athletes // Am. J. Cardiol.— 2007.— Vol. 100.— № 3.— P. 528–530.
23. Bahnson H., Spencer F., Busse E., Davis F. Cusp replacement and coronary artery perfusion in open operations on the aortic valve // Ann Surg.—1960.— Vol.152. № 3.— P. 494–505.
24. Banbury M.K., Cosgrove D. M., Bruce W. L., Smedira N. G., Sabik J. F., Saunders Cr. R. Long-term results of the Carpentier-Edwards pericardial aortic valve: A 12-year follow-up // Ann. Thorac. Surg.— 1998.—Vol. 66.— № 6.—P. S73-S76.
25. Barondess J.A., Sande M. Some Changing Aspects of Aortic Regurgitation // Arch. Intern. Med. 1969.— Vol.124.— № 5.— P. 600–605.
26. Barratt-Boyes B.G. Homograft Aortic Valve Replacement in Aortic Incompetence and Stenosis. // Thorax.— 1964.—Vol. 19.— P. 131–150.

27. Baumgartner H., Falk V., Bax J. J., De Bonis M., Hamm Ch., Holm P. J., Jung B. et al. 2017 ESC/EACTS Guidelines for the management of valvular heart disease // *European Heart Journal*— 2017.—Vol.38.— №36.—P. 2739–2786.
28. Benjamin E.J., Blaha M.J., Chiuve S.E. et al. Heart disease and stroke statistics-2017 update: a report from the American Heart Association. // *Circulation*.— 2017.—Vol. 135.—№ 10—P.146–603.
29. Benjamin R.B., Lewis F.J., Niazi S.A., Shumway N.E. Aortic valvulotomy under direct vision during hypothermia // *J Thorac Surg*.— 1956.—Vol. 32.—P. 481–499.
30. Bierbach B.O., Aicher D., Issa O. A. Bomberg H., Gräber St., Glombitza P., Schäfers H.J. Aortic root and cusp configuration determine aortic valve function // *Eur. J. Cardio-thoracic Surg*.— 2010.— Vol. 38.— № 4.— P. 400–406.
31. Binet J., Drauan C., Carpentier A., Langlois J. Heterologous aortic valve transplantation // *Transplantation*.— 1966.— Vol. 4.— № 4.— P. 516.
32. Bisleri G. Aortic valve repair // *Curr. Opin. Cardiol*.— 2016.— Vol. 31.—№ 6.— P. 581–584.
33. Bjork V.O., Hultquist G. Teflon and pericardial aortic valve prostheses // *J Thorac Cardiovasc Surg*.— 1964.— Vol. 47. —P. 693–701.
34. Bonow R.O., Carabello B. A., Chatterjee K., De Leon A. C., Faxon D. P., Freed M. D., Gaasch W. H., Lytle B. Wh. et al. ACC/AHA 2006 guidelines for the management of patients with valvular heart disease: A report of the American College of Cardiology/American Heart Association Task Force on Practice Guidelines (Writing Committee to Revise the 1998 Guidelines for the Management of Patients With Valvular Heart Disease). // *Circulation*.— 2006.— Vol.114.—№5.—P. 84–231.
35. Boodhwani M., Khoury G. El. Aortic valve repair: Indications and outcomes // *Curr. Cardiol. Rep*.—2014.— Vol. 16. —№ 6.—P. 490.
36. Butany J., Fayet C., Ahluwalia M. S., Blit P., Ahn C., Munroe C., Israel N., Cusimano R. J., Leask R. L. Biological replacement heart valves: Identification and evaluation // *Cardiovasc. Pathol*.— 2003.— Vol. 12.— № 3.— P. 119–139.

37. Carapetis J.R. Rheumatic heart disease in developing countries // *N. Engl. J. Med.*— 2007.— Vol. 357.— № 5.— P. 439–441.
38. Carlson R.G., Mayfield W.R., Normann S., Alexander J.A. Radiation-associated valvular disease // *Chest.*— 1991.— Vol. 99.— № 3.— P. 538–545.
39. Carpentier A. Cardiac valve surgery: the French correction // *J Thorac Cardiovasc Surg.*—1983.— Vol. 86.— № 3.— P. 323–37.
40. Carpentier A., Adams D.H., Filsoufi F. Carpentier's reconstructive valve surgery From Valve Analysis to Valve Reconstruction.— Saunders Elsevier.— 2010.— P. 214.
41. Cervantes J. Fiftieth anniversary of the first aortic valve prosthesis implantation // *Langenbeck's Arch. Surg.* —2003.—Vol. 388.— № 5.— P. 366–367.
42. Chaikof E.L. The development of prosthetic heart valves - Lessons in form and function // *N. Engl. J. Med.*— 2007.— Vol. 357.— № 14.— P. 1368–1371.
43. Chambers J. B., Bridgewater B. Epidemiology of valvular heart disease.— Elsevier Inc.— 2016.—4 edition.—Chapter 1.—P. 1-13.
44. Chan K.M.J., Rahman-Haley Sh., Mittal T. K., Gavino J. A., Dreyfus G. D. Truly stentless autologous pericardial aortic valve replacement: An alternative to standard aortic valve replacement // *J. Thorac. Cardiovasc. Surg.*—2011.— Vol. 141.— № 1.— P. 276–283.
45. Charitos E.I., Sievers H.-H. Anatomy of the aortic root: implications for valve-sparing surgery. // *Ann. Cardiothorac. Surg.*— 2013.— Vol. 2.— № 1.— P. 530–536.
46. Cohn L.H. History of Cardiac Surgery at the Peter Bent Brigham and Brigham and Women's Hospital, Boston, Massachusetts // *Semin. Thorac. Cardiovasc. Surg.*— 2015.— Vol. 27.— № 4.— P. 398–402.
47. Contino M., Mangini A., Lemma M. G., Romagnoni C., Zerbi P., Gelpi G., Antona C. A geometric approach to aortic root surgical anatomy // *Eur. J. Cardio-thoracic Surg.*— 2016.— Vol. 49.— № 1.— P. 93–100.
48. Duran C., Kumar N., Gometza B., Halees Z. A. Indications and limitations of aortic valve reconstruction // *Ann. Thorac. Surg.*— 1991.— Vol. 52.— № 3.—

- P. 447–454.
49. Duran C., Gallo R., Kumar N. Aortic Valve Replacement with Autologous Pericardium: Surgical Technique // *J. Card. Surg.*— 1995.—Vol. 10.— № 1.— P. 1–9.
 50. Elzein C.E., Polimenakos A.C., Ilbawi M.N. Aortic valve repair in children // *Mastery of Cardiac Surgery / Editors: Kaiser L.R., Kron I.L., Spray T.L.* Philadelphia: Wolters Kluwer/Lippincott Williams & Wilkins.— 2013.— 3rd ed.— Chapter 104.— P. 1099–1109.
 51. Elzein C., Subramanian S., Polimenakos A.C., Roberson D., Ilbawi M.N. Systematic Approach to Aortic Valvuloplasty in Children and Young Adults // *World J. Pediatr. Congenit. Hear. Surg.*— 2013.— Vol. 4.— № 4.— P. 412–417.
 52. ElZein C., Roberson D., Hammad N., Ilbawi M. Aortic Valvuloplasty or Rootplasty for Aortic Regurgitation // *Semin. Thorac. Cardiovasc. Surg. Pediatr. Card. Surg. Annu.*— 2018.— Vol. 21.— P. 33–40.
 53. Hassanabad A. F., Feindel C. M., Verma S., Fedak P. W. M. Evolving Surgical Approaches to Bicuspid Aortic Valve Associated Aortopathy // *Front. Cardiovasc. Med.*— 2019.— Vol. 6.— № March.— P. 1–8.
 54. Fattouch K., Sampognaro R., Bianco G., Navarra E., Moscarelli M., Speziale G., Ruvolo 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.— Vol. 85.— № 6.— P. 2019–25.
 55. Fishbein G.A. Pathology of the Aortic Valve: Aortic Valve Stenosis/Aortic Regurgitation // *Curr. Cardiol. Rep.*— 2019.— Vol. 21.— № 81.— P. 1–9.
 56. Fleerackers J., Schepens M., Ranschaert W., Verrelst P., Graulus E. Aortic valve replacement using the Freedom SOLO stentless bioprosthesis: clinical and haemodynamic performance in 625 patients at medium-term follow-up. // *Europ. Jour. of Cardio-Thor. Surg.*— 2018.—Vol. 54.—P. 1073–1080.
 57. Forcillo J., Bouchard D., Nguyen A., Perrault L. Cartier R., Pellerin M., Demers Ph., Stevens L.M., Carrier M. Perioperative outcomes with sutureless versus stented biological aortic valves in elderly persons // *J. Thorac. Cardiovasc.*

- Surg.— 2016.— Vol. 151.— № 6.— P. 1629–1636.
58. Freeman R.V., Otto C.M. Spectrum of calcific aortic valve disease: Pathogenesis, disease progression, and treatment strategies // *Circulation*.— 2005.— Vol. 111.— № 24.— P. 3316–3326.
59. Gasparyan V.C. Reconstruction of the aortic valve with autologous pericardium: An experimental study // *J. Thorac. Cardiovasc. Surg.*— 2000.— Vol. 117.— № 1.—P. 197–198.
60. Gnyaneshwar R., Kumar R.K., Balakrishnan K.R. Dynamic analysis of the aortic valve using a finite element model // *Ann. Thorac. Surg.*— 2002.— Vol. 73.— № 4.— P. 1122–1129.
61. Halees Z. Al., Shahid M. Al., Sanei A. Al. Sallehuddin A., Duran C. Up to 16 years follow-up of aortic valve reconstruction with pericardium: A stentless readily available cheap valve? // *Eur. J. Cardio-thoracic Surg.*— 2005.— Vol. 28.— № 2.— P. 200–205.
62. 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.— Vol. 40.— P. 744–62.
63. Hessel E.A. History of cardiopulmonary bypass (CPB) // *Best Pract. Res. Clin. Anaesthesiol.*— 2015.— Vol. 29.— № 2.— P. 99–111.
64. Ho S.Y. Structure and anatomy of the aortic root // *Eur. J. Echocardiogr.*— 2009.— Vol. 10.— № 1.—P. i3-10.
65. Huang G., Rahimtoola S.H. Prosthetic heart valve // *Circulation*.— 2011.—Vol. 123.— № 22.— P. 2602–2605.
66. Hufnagel C.A., Harvey W.P. The surgical correction of aortic regurgitation preliminary report // *Bull Georg. Univ Med Cent.*— 1953.— Vol. 6.— № 3.— P. 60–1.
67. Iaizzo P. Handbook of cardiac anatomy, physiology, and devices.—Springer.— 2009.—2nd edition.—P. 529 .
68. Iaizzo P.A., Bianco R.W., Hill A.J. St. Louis, J.D. Heart valves: From design to clinical implantation.— Springer Science+Business Media New York.—

- 2013.—Chapter 5.— P. 85–120.
69. Ibrahim M., Spelde A.E., Carter T. I., Patel P. A., Desai N. The Ross Operation in the Adult: What, Why, and When? // *J. Cardiothorac. Vasc. Anesth.* 2018.— Vol. 32.— № 4.— P. 1885–1891.
 70. Iung B., Baron G., Butchart E.G., Delahaye F., Gohlke-Bärwolf C., Levang O.W., Tornos P., Vanoverschelde J.L. et al. A prospective survey of patients with valvular heart disease in Europe: The Euro Heart Survey on valvular heart disease // *Eur. Heart J.*— 2003.— Vol. 24.— № 13.— P. 1231–1243.
 71. Iung B., Cachier A., Baron G., Messika-Zeitoun D., Delahaye F., Tornos P., Gohlke-Bärwolf C., Boersma E. Decision-making in elderly patients with severe aortic stenosis: Why are so many denied surgery? // *Eur. Heart J.*—2005.— Vol. 26.— № 24.— P. 2714–2720.
 72. Kawase I., Ozaki S., Yamashita H., Uchida Sh., Nozawa Y., Matsuyama T., Takatoh M., Hagiwara S. Original aortic valve plasty with autologous pericardium for quadricuspid valve // *Ann. Thorac. Surg.*— 2011.— Vol. 91.— № 5.— P. 1598–1599.
 73. Komarov R., Chernov I., Enginiev S., Pompeu M., Sa B.O, Tarasov D. The Russian Conduit – Combining Bentall and Ozaki Procedures for Concomitant Ascending Aorta Replacement and Aortic Valve Neocuspidization. // *Braz. J. Cardiovasc. Surg.*— 2019.—Vol. 34.—№ 5.—P. 618-23.
 74. Komiya T. Aortic valve repair update // *Gen. Thorac. Cardiovasc. Surg.*— 2015.— Vol. 63.— № 6.— P. 309–319.
 75. Kunzelman K.S., Grande K.J., David T.E., Cochran R.P., Verrier E.D. Aortic root and valve relationships: Impact on surgical repair // *J. Thorac. Cardiovasc. Surg.*— 1994.— Vol. 107.— № 1.— P. 162–170.
 76. Kvidal P., Bergström R., Malm T., Ståhle E. Long-term follow-up of morbidity and mortality after aortic valve replacement with a mechanical valve prosthesis // *Eur. Heart J.*— 2000.— Val. 21.— № 13.— P. 1099–1111.
 77. Laborde F., Fischlein T., Hakim-Meibodi K., Misfeld M., Carrel T., Zembala M., Madonna F., Meuris B., Haverich A. 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-thoracic Surg.*— 2016.— Vol. 49.— № 3.— P. 978–986.
78. Lebowitz N.E., Bella J.N., Roman M. J., Liu J.E., Fishman D.P., Paranicas M. Prevalence and correlates of rheumatic heart disease in American Indians (The Strong Heart Study) // *Am. J. Cardiol.*— 2000.— Vol. 36.— № 2.— P. 461–467.
79. 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.— Vol. 35.— № 2.— P. 154–91.
80. Liu T., Xie M., Lv Q., Li Y., Fang L., Zhang L., Deng W., Wang J. Bicuspid aortic valve: An update in morphology, genetics, biomarker, complications, imaging diagnosis and treatment // *Front. Physiol.*— 2019.—Vol. 10.— № JAN.— P. 1–17.
81. Loukas M., Bilinsky E., Bilinsky S., Blaak C., Tubbs R.S., Anderson R.H. The anatomy of the aortic root // *Clin. Anat.*— 2014.— Vol. 27.— № 5.— P. 748–756.
82. Magovern G.J., Cromie H.W. Sutureless Prosthetic Heart Valves. // *J. Thorac. Cardiovasc. Surg.*— 1963.— Vol. 46.— № 6.— P. 726–736.
83. McAlpine W.A. Heart and Coronary Arteries.— Berlin.— Springer-Verlag.— 1975.—P. 9-26.
84. Moller J.H., Nakib A., Eliot R.S., Edwards J. E. Symptomatic congenital aortic stenosis in the first year of life // *J. Pediatr.*— 1966.— Vol. 69.— № 5— PART 1. —P. 728–734.
85. Montealegre-Gallegos M., Shakil O., Jiang L., Mahmood F. Unicommissural unicuspid aortic valve // *Ann. Card. Anaesth.*— 2014.— Vol. 17.— № 1.— P. 40–41.
86. Murray G., Roschlau W., Loughheed W. Homologous aortic-valve-segment transplants as surgical treatment for aortic and mitral insufficiency // *Angiology.*— 1956.— Vol. 7.— № 5.— P. 466–471.

87. Nishimura R.A., Otto C.M., Bonow R.O., Carabello B. A., Erwin J. P., Fleisher L.A., Jneid H., Mack M. J. et al. 2017 AHA/ACC Focused Update of the 2014 AHA/ACC Guideline for the Management of Patients With Valvular Heart Disease: A Report of the American College of Cardiology/American Heart Association Task Force on Clinical Practice Guidelines // *J. Am. Coll. Cardiol.*— 2017.— Vol. 70.—№ 2.— P. 252–289.
88. Nkomo V.T., Gardin J.M., Skelton T. N., Gottdiener J.S., Scott C.G., Enriquez-Sarano M. Burden of valvular heart diseases: a population-based study // *Lancet.*— 2006.— Vol. 368.— № 9540.—P. 1005–1011.
89. Novaro G.M., Mishra M., Griffin B.P. Incidence and echocardiographic features of congenital unicuspid aortic valve in an adult population // *J. Heart Valve Dis.*— 2003.— Vol. 12. № 6.— P. 674–678.
90. Okafor I., Raghav V., Midha P., Kumar G., Yoganathan A. The hemodynamic effects of acute aortic regurgitation into a stiffened left ventricle resulting from chronic aortic stenosis. // *Am J Physiol Heart Circ Physiol.*—2016.—Vol. 310.—№ 11.— P. H1801–7.
91. Osnabrugge R.L.J., Mylotte D., Head S.J., Van Mieghem N.M., Nkomo V.T., Lereun C.M., Bogers A.J.J.C., Piazza N., Kappetein A.P. Aortic stenosis in the elderly: Disease prevalence and number of candidates for transcatheter aortic valve replacement: A meta-analysis and modeling study // *J. Am. Coll. Cardiol.*— 2013.— Vol. 62.— № 11.— P. 1002–1012.
92. 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.— Vol. 147.— № 1.— P. 301–306.
93. Ozaki S., Kawase I., Yamashita H., Uchida S., Takatoh M., Hagiwara S., Kiyohara N. Aortic valve reconstruction using autologous pericardium for aortic stenosis // *Circ. J.*— 2015.— Vol. 79.— № 7.— P. 1504–1510.
94. Ozaki S., Kawase I., Yamashita H., Uchida S., Takatoh M., Kiyohara N. Midterm outcomes after aortic valve neocuspidization with glutaraldehyde-

- treated autologous pericardium // *J. Thorac. Cardiovasc. Surg.*— 2018.— Vol. 155.— № 6.— P. 2379–2387.
95. Parabolic Segment Calculator. [Электронный ресурс]. URL: <https://rechneronline.de/pi/parabolic-segment.php>. (Дата обращения: 13.10.2020).
96. Patel P.A., Gutsche J.T., Vernick W.J., Giri J.S., Ghadimi K., Weiss S.J. Jagasia D.H., Bavaria J.E., Augoustides J. G.T. The functional aortic annulus in the 3D era: Focus on transcatheter aortic valve replacement for the perioperative echocardiographer // *J. Cardiothorac. Vasc. Anesth.*— 2015.—Vol. 29.— № 1.— P. 240–245.
97. Pibarot P., Dumesnil J.G. Prosthetic heart valves: Selection of the optimal prosthesis and long-term management // *Circulation.*— 2009.—Vol. 119.— № 7.— P. 1034–1048.
98. Rajput F., Zeltser R. Aortic Valve Replacement. [Электронный ресурс]. URL: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/30725821/>. (Дата обращения: 15.10.2020).
99. Rankin J.S., Dalley A.F., Crooke P.S., Anderson R.H. A «Hemispherical» model of aortic valvar geometry // *J. Heart Valve Dis.*— 2008.— Vol. 17.— № 2.—P. 179–186.
100. Rankin J.S. Bone M.C., Fries P.M., Aicher D., Schäfers H.J., Crooke P.S. A refined hemispheric model of normal human aortic valve and root geometry // *J. Thorac. Cardiovasc. Surg.*— 2013.— Vol. 146.— № 1.—P.103—108.
101. Rankin J.S., Nöbauer C., Crooke P.S., Schreiber C., Lange R., Mazzitelli D. Techniques of autologous pericardial leaflet replacement for aortic valve reconstruction // *Ann. Thorac. Surg.*— 2014.— Vol. 98.— № 2.— P. 743–745.
102. Raphael C., Briscoe C., Davies J., Whinnett Z.I., Manisty C., Sutton R., Mayet J., Francis D.P. Limitations of the New York Heart Association functional classification system and self-reported walking distances in chronic heart failure // *Heart.*— 2007.— Vol. 93.— № 4.— P. 476–482.
103. Roberts W.C., Ko J.M., Garner W.L., Filardo G., Henry A.C., Hebel R.F., Matter G.J., Hamman B.L. Valve Structure and Survival in Octogenarians

- Having Aortic Valve Replacement for Aortic Stenosis (\pm Aortic Regurgitation) With Versus Without Coronary Artery Bypass Grafting at a Single US Medical Center (1993 to 2005) // *Am. J. Cardiol.*— 2007.— Vol. 100.— № 3.— P. 489–495.
104. Robicsek F. The application of biological tissues in cardiac valve surgery. The history of the first two decade // *J Hear. Valve Dis.*— 1994.— Vol. 3.—№ 6.—P. 613–26.
105. Rosenhek R., Zilberszac R., Schemper M., Czerny M., Mundigler G., Graf S., Bergler-Klein J., Grimm M., Gabriel H., Maurer G. Natural history of very severe aortic stenosis // *Circulation.*— 2010.— Vol. 121.— № 1.— P. 151–156.
106. Ross D. Homograft replacement of the aortic valve // *Transplantation.*— 1968.— Vol. 6.— № 4.— P. 630–31.
107. Ross D. The Ross operation // *J. Card. Surg.*— 2002.— Vol. 17.— № 3.— P. 188–193.
108. Ross J.J., Braunwald E. Aortic stenosis // *Circulation.*—1969.—Vol. 38.— P. 61–67.
109. Ruel M., Kapila V., Price J., Kulik A., Burwash I.G., Mesana T.G. Natural history and predictors of outcome in patients with concomitant functional mitral regurgitation at the time of aortic valve replacement // *Circulation.*—2006.— Vol. 114.— № SUPPL. 1.— P. 541–547.
110. Sadée A.S., Becker A.E., Verheul J.A. The congenital bicuspid aortic valve with post-inflammatory disease - A neglected pathological diagnosis of clinical relevance // *Eur. Heart J.*— 1994.— Vol. 15.— № 4.— P. 503–506.
111. Sahasakul Y., Edwards W.D., Naessens J.M., Tajik A.J. Age-related changes in aortic and mitral valve thickness: Implications for two-dimensional echocardiography based on an autopsy study of 200 normal human hearts // *Am. J. Cardiol.*— 1988.—Vol. 62.— № 7.— P. 424–430.
112. Schäfers H.J. Current treatment of aortic regurgitation.— London/Boston: UNI-MED Verlag Bremen.— 2013.— 1st edition.
113. Schäfers H.J., Schmied W., Marom G., Aicher D. Cusp height in aortic

- valves // *J. Thorac. Cardiovasc. Surg.*— 2013.— Vol. 146.— № 2.— P. 269–274.
114. Schäfers H.J., Bierbach B., Aicher D. A new approach to the assessment of aortic cusp geometry // *J. Thorac. Cardiovasc. Surg.*— 2006.— Vol. 132.— № 2.— P. 436–438.
115. Schneider U., Schäfers H.J. Repair of the Bicuspid Aortic Valve. // *Operative Techniques in Thoracic and Cardiovascular Surgery.*—2017.— Vol.22.—№ 2.—P.91-109.
116. Shibayama K., Watanabe H., Murai T., Sasaki S., Tabata M., Fukui T., Umemura J., Takanashi S., et al. Aortic regurgitation caused by cusp bending of aortic valve leaflet // *J. Echocardiogr.*— 2012.— Vol. 10.— № 1.— P. 21–23.
117. Sievers H.H., Hemmer W., Beyersdorf F., Moritz A., Moosdorf R., Lichtenberg A., Misfeld M., Charitos E.I. The everyday used nomenclature of the aortic root components: The tower of babel? // *Eur. J. Cardio-thoracic Surg.*— 2012.— Vol. 41.— № 3.— P. 478–482.
118. Silver F., Christiansen D., Buntin C. Mechanical properties of the aorta: a review // *Crit Rev Biomed Eng.*— 1989.— Vol. 17.— P. 323–358.
119. Silver M.A., Roberts W.C. Detailed anatomy of the normally functioning aortic valve in hearts of normal and increased weight // *Am. J. Cardiol.*— 1985.— Vol. 55.— № 4.— P. 454–461.
120. Singh J.P., Evans J.C., Levy D., Larson M.G., Freed L.A., Fuller D.L., Lehman B., Benjamin E.J. Prevalence and clinical determinants of mitral, tricuspid, and aortic regurgitation (the Framingham Heart Study). // *The American Journal of Cardiology.*—1999.— Vol.83.— № 6.—P.897–902.
121. Smith A., Arnold R., Anderson R.H., Wilkinson J.L., Qureshi S.A., Gerlis L.M. et al. Anomalous origin of the left coronary artery from the pulmonary trunk. Anatomic findings in relation to pathophysiology and surgical repair // *J Thorac Cardiovasc Surg.*— 1989.—Vol. 98.— № 1.—P. 16–24.
122. Sniecinski R.M., Shanewise J.S., Glas K.E. Transesophageal echocardiography of a unicuspid aortic valve // *Anesth. Analg.*— 2009.— Vol.

- 108.— № 3.— P. 788–789.
123. Spencer F.C., Neil C.A., Bahnson H.T. The treatment of congenital aortic stenosis with valvulotomy during cardiopulmonary bypass // *Surgery*.— 1958.— Vol. 44.— № 1.— P. 109–24.
124. Stanger H.O., Pepper J.R., Svensson L.G. *Surgical Management of Aortic Pathology: Current Fundamentals for the clinical management of aortic disease*.— Springer.— 2019.— P. 71.
125. Stassano P., Di Tommaso L., Monaco M., Iorio F., Pepino P., Spampinato N., Vosa C. Aortic Valve Replacement. A Prospective Randomized Evaluation of Mechanical Versus Biological Valves in Patients Ages 55 to 70 Years // *J. Am. Coll. Cardiol.*— 2009.— Vol. 54.— № 20.— P. 1862–1868.
126. Subramanian S., Tikhomirov V., Bharati S., ElZein C., Roberson D., Ilbawi M.N. Relationship of Normal Aortic Valve Cusp Dimensions: A Tool to Optimize Cusp Reconstruction Valvuloplasty // *Semin. Thorac. Cardiovasc. Surg.*— 2016.— V. 28.— № 2.— P. 521–527.
127. Sud A., Parker F., Magilligan D.J. Anatomy of the Aortic Root // *Ann. Thorac. Surg.*— 1984.— Vol. 38.— № 1.— P. 76–79.
128. Sutton J.P., Ho S.Y., Anderson R.H. The forgotten interleaflet triangles: A review of the surgical anatomy of the aortic valve // *Ann. Thorac. Surg.*— 1995.— Vol. 59.— № 2.— P. 419–427.
129. 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.— Vol. 144.— № 2.— P. 205–214.
130. Tamás É., Nylander E. Echocardiographic description of the anatomic relations within the normal aortic root // *J. Heart Valve Dis.*— 2007.— Vol. 16.— № 3.— P. 240–246.
131. Thaden J.J., Nkomo V.T., Enriquez-Sarano M. The global burden of aortic stenosis. // *Prog. Cardiovasc. Dis.*— 2014.— Vol. 56.— № 6.— P. 565–71.
132. Thom T., Haase N., Rosamond W., Howard V.J., Rumsfeld J., Manolio T., Zheng Z.J., Flegal K. et al. Heart disease and stroke statistics - 2006 Update: A

- report from the American Heart Association Statistics Committee and Stroke Statistics Subcommittee // *Circulation*.— 2006.—Vol. 113.—№ 6.—P. e85-e151.
133. Thubrikar M., Piepgrass W.C., Shaner T.W. The design of the normal aortic valve // *Am J Physiol*.— 1981.— Vol. 241.— P. 795–801.
134. Tripathi A., Wang Y., Jerrell J. Population-based treated prevalence, risk factors, and outcomes of bicuspid aortic valve in a pediatric Medicaid cohort // *Ann. Pediatr. Cardiol*.— 2018.— Vol. 11.— № 2.— P. 119–124.
135. Valsalva A. Arteria magna sinus. // In: Morgagni J.B., ed. *Opera*. 1740. P. 1–129.
136. Vesely I. The role of elastin in aortic valve mechanics // *J. Biomech*.— 1997.— Vol. 31.— № 2.— P. 115–123.
137. Vollebergh F., Becker A.E. Minor congenital variations of cusp size in tricuspid aortic valves: Possible link with isolated aortic stenosis // *Heart*.— 1977.— Vol. 39.— № 9.— P. 1006–1011.
138. Walmsley T. *The heart*. London: Longmans, Green & Co.—1929.— P. 42–53.
139. Wenn P., Zeltser R. Aortic Valve Disease [Электронный ресурс]. URL: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK542205/>. (Дата обращения: 15.10.2020).
140. Wollersheim L., Li W., Bouma B., Repossini A., van der Meulen J., de Mol B. Aortic Valve Replacement With the Stentless Freedom SOLO Bioprosthesis: A Systematic Review. // *Ann Thorac Surg*.— 2015.—Vol.100.—№ 4.—P.1496-1504.
141. Yanagawa B., Christakis G. Bioprosthetic aortic valve replacement: stented pericardial and porcine valve // *Cardiac surgery in the adult* / editor L.H. Cohn.— New York: McGraw-Hill Companies, Inc.— 2008.— 3rd edition.—P. 857–94.
142. Zhu D., Zhao Q. Dynamic normal aortic root diameters: Implications for aortic root reconstruction // *Ann. Thorac. Surg*.— 2011.— Vol. 91.— № 2.— P.

485–489.

143. Zilla P., Brink J., Human P., Bezuidenhout D. Prosthetic heart valves: Catering for the few // *Biomaterials*. —2008.— Vol. 29.— № 4.— P. 385–406.